

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

«На правах рукопису»

УДК 62-1/-9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Гондлях О.В.

«_____» _____ 2019р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування

на тему: Лінія для нанесення полімерної ізоляції з модернізацією екструдера

виконав студент 2 курсу, групи ЛПІ-81мп

Роберт Ібіам

(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник _____ ктн. проф. Сівецький В.І. _____

Консультант (модернізація) _____ доц. Щербина В.Ю. _____

Консультант (ТМ та Е) _____ ст. викл. Борщик С.О. _____

Рецензент _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____

Київ - 2019 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність – 133 - Галузеве машинобудування

Спеціалізація - Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.В.Гондлях

«__»_____2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Роберт Ібіам

1. Тема дисертації «Лінія для нанесення полімерної ізоляції з модернізацією екструдера», науковий керівник дисертації Сівецький Володимир Іванович, професор, затверджені наказом по університету від «__»_____ 20__р.
№_____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження - механізм запирання в литтєвій машині

4. Вихідні дані: Продуктивність 90 кг/год.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити. Пояснювальна записка повинна мати наступний вигляд: зміст, вступ, призначення та галузь застосування виробу який проектується, технічна характеристика базового обладнання, список конструкції базового обладнання, основні частини та принципу дії, літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації, розділ «Охорона праці та навколишнього середовища». Література, додаток: таблиця «Перелік розглянутих патентів». Розділ «Розрахунки» має включати:

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на тему «Лінія для нанесення полімерної ізоляції з модернізацією екструдера»

Метою дисертації є модернізація черв'яка та головки екструдера. Магістерська дисертація вміщує пояснювальну записку, що складається з 7 розділів. Загальний обсяг роботи становить 90 сторінок основного тексту, 5 креслень.

Об'єкт розробки: процес екструзійного нанесення ізоляції на кабель.

Предмет розробки: черв'ячний екструдер та його основні робочі органи.

В даній роботі було зроблено літературно-патентний пошук конструкцій з метою обрання варіанта модернізації екструдера. Запропонована модернізація черв'яка та екструзійної головки для підвищення якості ізоляції.

Виконано необхідні параметричні, теплові розрахунки екструдера. Також було здійснення міцнісного розрахунків його вузлів, що підтверджують роботоздатність конструкції, а також виконання графічної частини, яка включає: технологічну схему лінії, до складу якої входить прес ЧП-63, загальний вигляд пресу ЧП-63 та основних його вузлів.

У роботі розроблено технологічні процеси складання вузла «Редуктора» та технологія монтажу і експлуатація екструдера.

Виконано стартап проект, у проведеному аналізі визначено вплив основних факторів на попит послуг, які надаються нашим проектом екструдера.

Ключові слова: ЧЕРВ'ЯЧНИЙ ЕКСТРУДЕР, ЧЕРВ'ЯК, ГОЛОВКА, ПОЛІВІНІЛХЛОРИД, РЕДУКТОР, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

This Master's thesis was done on the topic «Line for cable insulation with modernization of extruder»

This paper focuses on the modernization of extruder screw and head. It contains an explanatory note consisting of 7 sections. The total volume of the work is 90 pages of the main text, 5 diagrams

Object design: the process of cable insulation.

Subject design: Screw extruder and its main working parts.

In this project, a patent search was carried to choose the option of modifying the extruder. The modification of extruder screw and forming head were proposed to improve the quality of insulation.

The necessary parametric, and thermal calculations of the extruder were done. Calculation of the durability of the machine parts were done as well as the implementation of the graphical part, which includes: technological line diagram, which includes the extruder, and its major parts.

The technological processes of assembly of the «Reduction drive» and the technology of installation and operation of the extruder are developed in the work.

The startup project was done, the analysis of the main factors affecting the demand for services provided by our extruder project.

Keywords: SINGLE-SCREW EXTRUDER, SCREW, EXTRUDER HEAD, POLYVINYL CHLORIDE, REDUCTION DRIVE, MODERNIZATION

ЗМІСТ

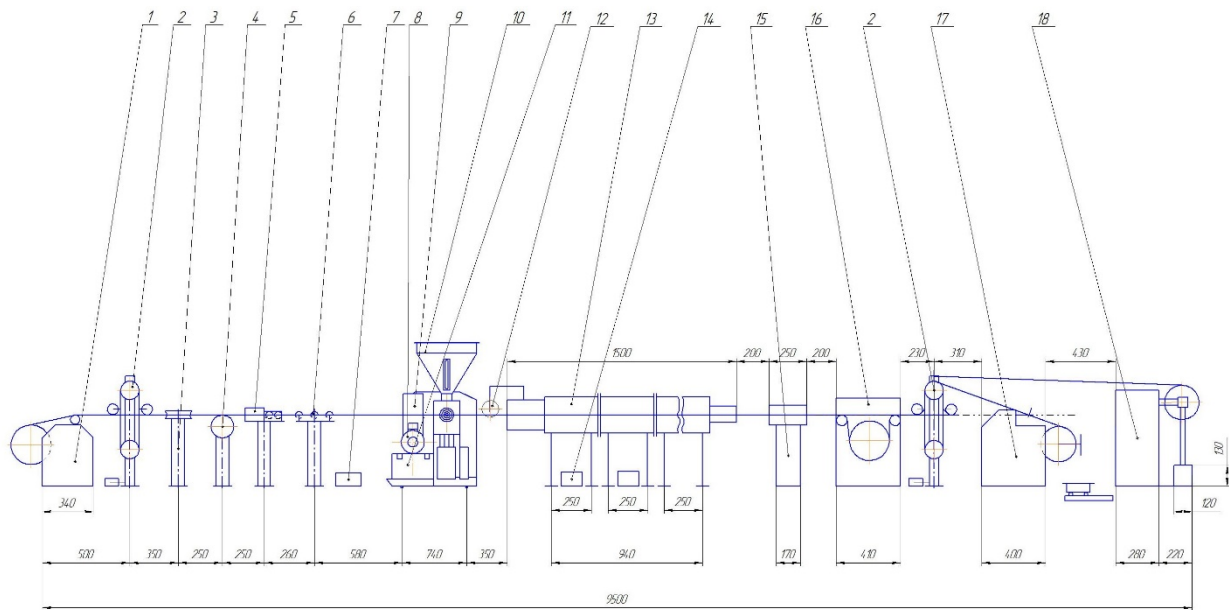
Вступ.....	9
1. Призначення та галузь використання технологічної схеми лінії.....	10
1.1. Опис технологічного процесу нанесення ізоляції	10
1.2 Вибір типу преса і його місце в технологічній схемі.....	11
1.3 Опис конструкції та принцип дії пресу ЧП-63	12
2. Технічна характеристика екструдера ЧЕ-63.....	14
3. Патентно-літературний огляд, обґрунтування запропонованої Модернізації.....	15
4. Вибір та обґрунтування запропонованої модернізації	21
5. Розрахунки ЧП-63.....	23
5.1. Розрахунки, які підтверджують працездатність	23
5.1.1. Параметричний розрахунок черв'яка	23
5.1.2. Розрахунок продуктивності екструдера ЧЕ-63 при переробці пластифікованого ПВХ	25
5.1.3. Розрахунок потужності приводу екструдера ЧЕ-63 при переробці пластифікованого ПВХ	29
5.2. Розрахунки, які відповідають модернізації черв'яка	33
5.2.1. Розрахунок черв'яка на стійкість та міцність.....	35
5 5.2.2. Розрахунок тиску, який розвиває черв'як	36
5.3. Розрахунок головки	36
5.4 Тепловий розрахунок.....	40

6.1 Монтаж і експлуатація.....	43
6.2 Старт проекту.....	63
6.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	71
6.3.1 Електробезпека.....	72
6.3.2 Повітря робочої зони.....	73
6.3.3 Виробничий шум.....	74
6.3.5 Освітлення на робочих місцях	76
6.3.4 Пожежна безпека.....	76
7. Розробка вузла конструкції в системі CATIA.....	78
7.1. Розробка 3D-моделі базової її модернізованої частини установки.....	78
7.2. Підтвердження працездатності	82
7.3. Аналіз достовірності отриманих результатів.....	86
Висновки.....	87
Література.....	88
Додатки	

1. Призначення та галузь використання лінії

Опис технологічного процесу нанесення ізоляції

Екструдер лінії для нанесення ізоляції з пластифікованого ПВХ (рисунок 1.1.1) використовується на підприємствах кабельної промисловості.



1 – пристрій для віддавання; 2 – компенсатор роликів; 3 – ролик; 4 – ролик; 5 – пристрій правильний; 6 – пристрій для протирання; 7 – установка вакуум-насоса; 8 – прес горизонтальний; 9 – завантажувальний бункер; 10 – головка екструзійна; 11 – завантажувальник шнековий; 12 – пристрій для маркування; 13 – пристрій для охолодження; 14 – станція тепла; 15 – пристрій для сушіння; 16- тяга; 17 – пристрій для приймання; 18 –бухтоприймальний пристрій.

Рисунок 1.1.1. Екструдер лінії для нанесення ізоляції з пластифікованого ПВХ

Пластифікований полівінілхлорид шнековим завантажувальником завантажується в бункері. Завантаження ПВХ здійснюється автоматично: включення електродвигуна приводу шнеку відбувається при звільненні штовхача мікроперемикача, встановленого в нижній частині бункера, а відключення – за часом, встановленого на реле часу.

В завантажувальній зоні пресу ПВХ захвачується черв'яком. По мірі пересування

вздовж корпусу пресу ПВХ розплавляється, гомогенізується і надходить до головки.

Металічна жила або кабель змотуються з барабанного пристрою віддавання 1, вирівнюються роликом в правильному пристрою 5, очищуються від шлаків та бруду і подається в голівку. Кабель рухається і полімер з голівки накладається на нього. Виріб охолоджується до кімнатної температури, підсушується в пристрої для сушіння.

Натягнення жили (кабелю) по всій довжині лінії створюється за рахунок різниці швидкості кабелю на барабані пристрої віддавання та колесі тягнучого пристрою.

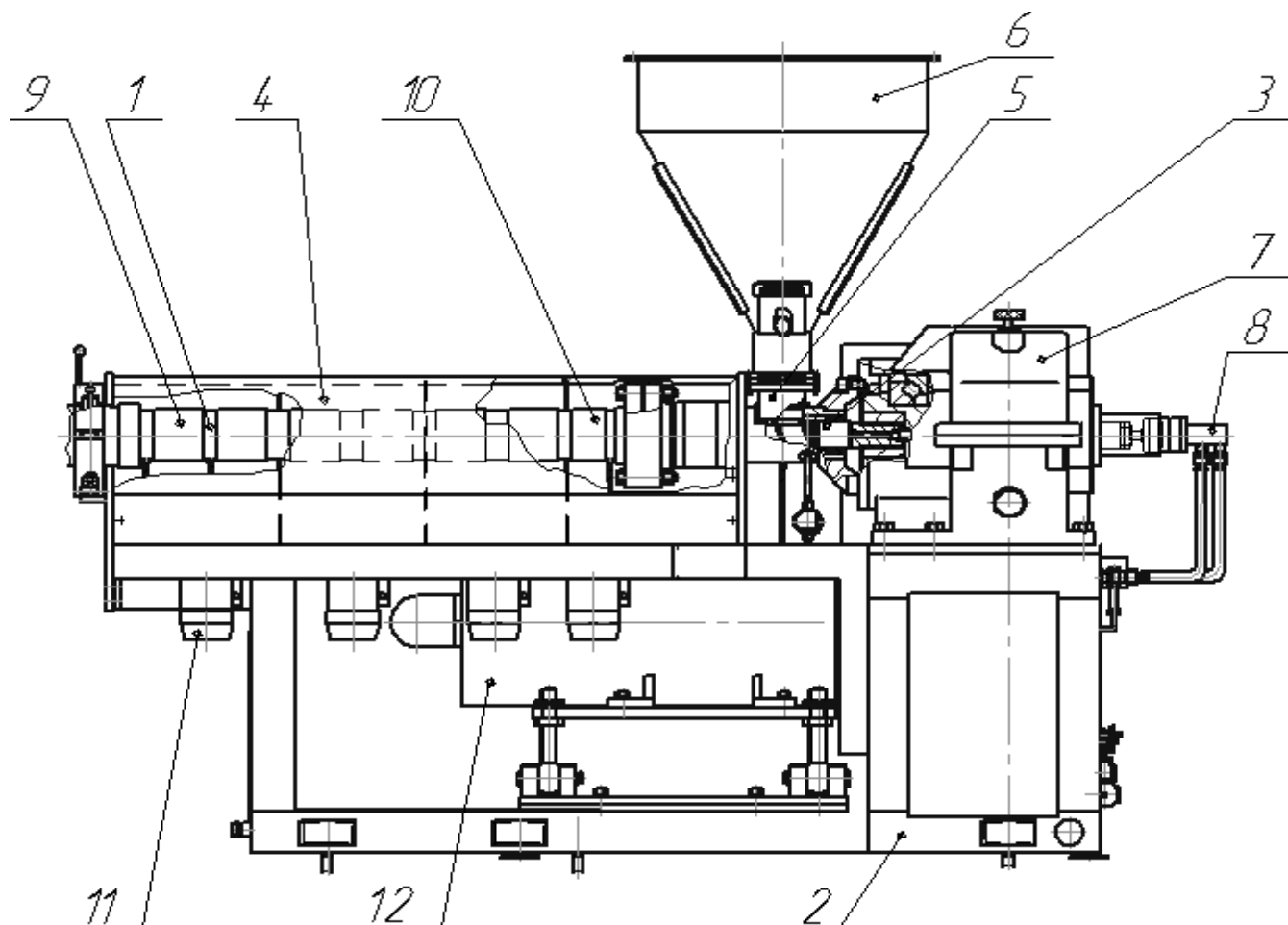
Готовий виріб намотується на барабан подвійного приймального 17 чи бухтоприймального пристроїв 18.

Вибір типу преса і його місце в технологічній схемі

В якості основного обладнання для переробки пластмас методом екструзії використовують одно- і двочерв'ячні екструдери, що ще називаються черв'ячними пресами. Крім черв'ячних екструдерів для переробки полімерів успішно використовують безчерв'ячні та дискові екструдери. Дискові екструдери використовують у тих випадках коли необхідне інтенсивне змішування, але не потрібно високого тиску формування. Також набули поширення черв'ячно-дискові екструдери, які ефективні тоді, коли потрібна висока якість змішування, а розплав матеріалу, що перероблюється, володіє відносно низькою в'язкістю і досить високою еластичністю. Екструзією на черв'ячному пресі можуть бути перероблені практично усі відомі полімери і їхні композиції. Узагальнено можна сказати, що основне його призначення – це отримання однорідного полімерного розплаву і подачі його під тиском в формуючу голівку.

Опис конструкції та принцип дії пресу ЧП-63

Прес черв'ячний ЧП-63 (рисунок 1.3.1) складається з матеріального циліндру 1 із завантажувальною воронкою 5, і розміщеному в них черв'яка 3, який приводить в оберти рух від клиноременевої передачі електродвигуна постійного току 12. Тепловий режим підтримується нагрівників 9 і 10, вентиляторів і системи повітряного охолодження циліндру 11, пристрою охолодження черв'яка 8. Всі складальні одиниці пресу змонтовані на зварній рамі 2, а циліндр закритий спеціальним кожухом 4.



1 – циліндр преса, 2 – рама, 3 – черв'як, 4 – кожух, 5 – воронка завантажувальна, 6 - завантажувальний бункер, 7 - редуктор, 8 – пристрій охолодження черв'яка, 9, 10 – індукційні нагрівники, 11 – вентилятор, 12 – електродвигун.

Рисунок 1.3.1 Прес ЧП-63

Циліндр преса 1 представляє собою товстостінну трубу з двома фланцями та твердосплавною наплавкою всередині циліндру. Зовнішня поверхня циліндру розділена на 5 температурних зон. В кожній встановлені електронагрівники індукційні 9 і 10, а також перетворювач термоелектричний, сигнал від якого подається в комплектний пристрій терморегулювання.

В чотирьох перших зонах вентилятори охолодження присутні, в п'ятій зоні (перехідній до головки) – відсутній. В завантажувальній частині циліндру на зовнішній поверхні передбачені канали для охолодження завантажувальної воронки 5 водою, витрата води регулюється вручну та за допомогою вентиля.

Для сприйняття осьових навантажень від черв'яка на тихохідному валу редуктора змонтований упорний підшипник 3. Редуктор 7 змащується від насоса. В картері

редуктора встановлено теплообмінник для охолодження масла водою. В системі змазки передбачено реле тиску, котре повинне давати сигнал для відключення електродвигуна приводу черв'яка при падінні тиску масла в системі менше 0,05 МПа.

2. Технічна характеристика преса ЧП-63

Технічна характеристика несе в собі особливу інформацію про апарат. Саме за цими показниками проводиться порівняння зразка з подібними йому та для наступного вибору і обґрунтування обраного варіанту. Основні показники преса ЧП-63 наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика преса ЧП-63

Продуктивність при максимальній частоті обертання черв'яка	90кг/год
Діаметр черв'яка	63 мм
Відношення робочої довжини черв'яка до його діаметру	25
Встановлена потужність електродвигуна	37 кВт
Загальна встановлена потужність нагрівників	9,4 кВт
Число обертів черв'яка	16...160 об/хв.
Опір формувальної головки	28 МПа
Витрата води на охолодження преса	0,4 м ³ /год
Тиск (без втрат на зливі)	0,3-0,4 МПа
Температура води	20 ⁰ С
Маса	2300 кг
Габаритні розміри -довжина -ширина -висота	2525 мм 1040 мм 1870

3. Патентно-літературний огляд конструкцій черв'ячного пресу

Під час виконання магістерської дисертації було зроблено огляд технічної літератури з метою аналізу конструкцій і принципу дії лінії для нанесення полімерної ізоляції, її переваг і недоліків. Проаналізовані джерела [1-6]. Виходячи з індивідуального завдання магістерської дисертації необхідно покращити черв'як та головки екструдера. Для цього проведено патентно-літературний огляд черв'ячного пресу. Для вибору варіанту модернізації екструдера знайдено 7 технічних рішень на основі патентів [7-12]. Розглянемо їх детальніше.

В [7] наведений вдосконалений шнек екструдера.

В основу моделі покладено завдання ущільнення зазору шнек-матеріальний циліндр екструдера (рисунок 5.1).

В шнеку нововведенням є те, що в канавку на гребні червяка встановлено пружний спіральний елемент, крок спіралі якого дорівнює кроку шнекової нарізки.

Очікуваний ефект: результатом є можливість елемента повністю перекрити зазор шнек-матеріальний циліндр, а з іншого боку спіральний елемент дозволяє залишити технологічний зазор на рівні 0,2мм.

Переваги: застосування цієї конструкції дозволяє підвищити продуктивність технологічного обладнання і знизити енергоємність виробів з полімерів.

Недоліки: складність конструкції, складність монтажу.

Засоби досягнення ефекта: розширення можливостей і підвищення надійності досягається за рахунок виконання гребня з спіраллю, що дозволяє позбавитися перетікання матеріалу через гребінь і збільшити продуктивність машини.

Порівняння: обраний апарат складніший в конструкції, складний у виготовленні, конструкція менш надійна.

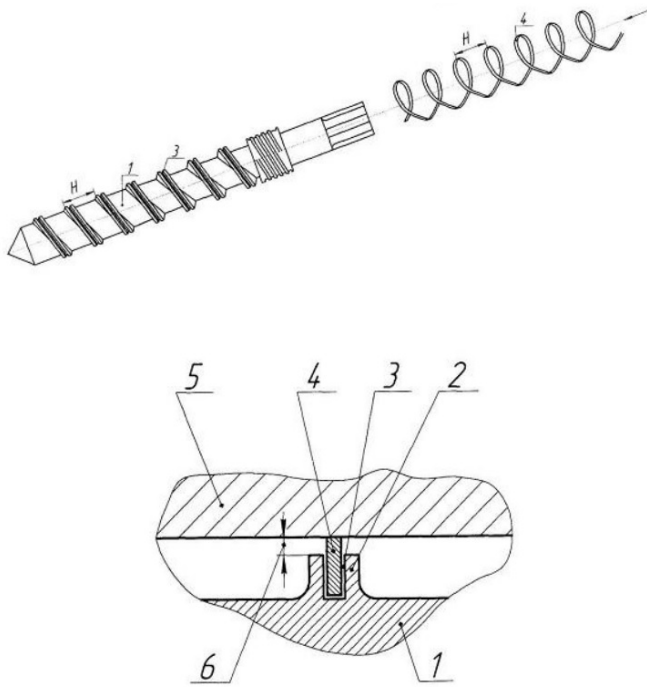


Рисунок 3.1 - Черв'як вдосконалений з гребенем

В [8] наведена черв'як з продольними змішувальними елементами (рисунок 3.2). Черв'як екструдера з розташованими між витками черв'яка змішувальними елементами, з пазами, відкритими зі сторони входу і виходу в напрямку руху матеріалу..

Очікуваний ефект: підвищення якості змішування і збільшення продуктивності екструдера.

Переваги: висока якість змішування завдяки клиновидній формі пазів і виключає появлення застійних зон по причині плавного змінення перерізу пазів по довжині..

Недоліки: невисока гомогенізація по всьому об'єму черв'яка.

Засоби досягнення ефекта: модернізація черв'яка, шляхом додавання додаткових пазів в напрямку руху розплаву.

Порівняння: обраний апарат складніший у виготовленні, конструкція менш надійна.

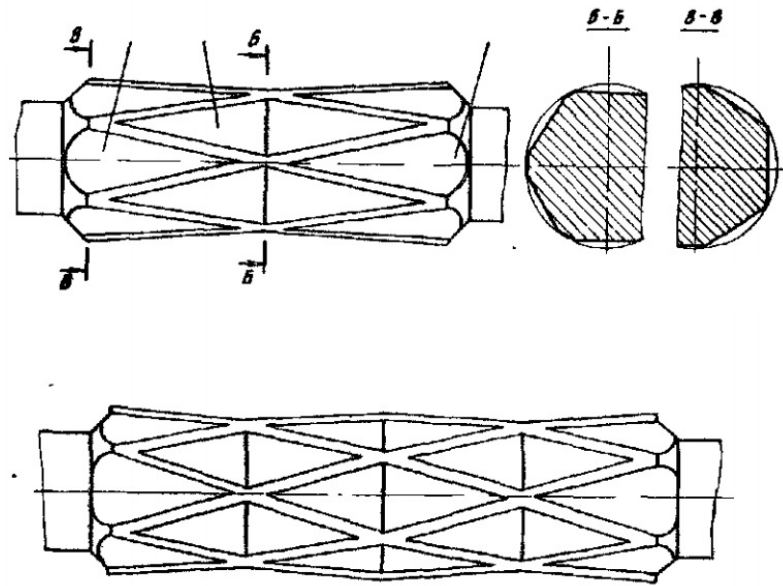


Рисунок 3.2 - Черв'як за продольними змішувальними елементами

В [9] черв'як екструдера з зонами з гвинтовою нарізкою, що чергуються з зонами змішувальних елементів. (рисунок 3.3).

Очікуваний ефект: покращення продуктивності екструдерів, та якості виробів.

Переваги: покращення змішування.

Недоліки: складність при підвищених вимогах до виготовленні,

Засоби досягнення ефекта: за рахунок встановлених кільцевих виступів, розміщених за змішувальними елементами, що мають пази по зовнішній поверхні.

Порівняння: обраний модернізація складніша у виготовленні.

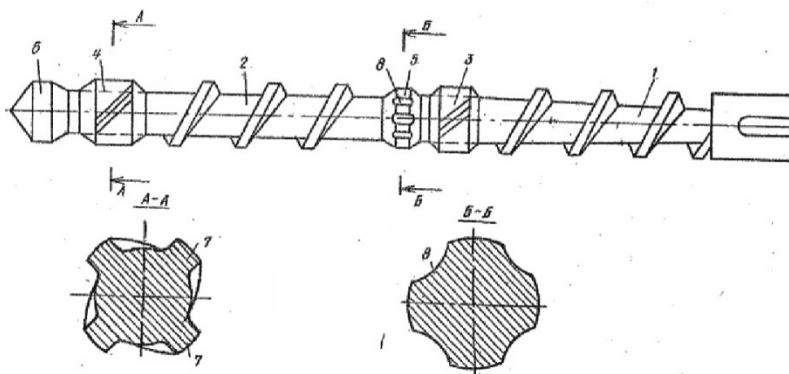


Рис. 3.3 Черв'як екструдера з чергування зон змішувальних елементів

В [10] наведено черв'як з гвинтовою канавкою, що розміщена по всій довжині гребня черв'яка (рисунок 5.5).

Гвинтова канавка, що розміщена по всій довжині гребня черв'яка, і паралельно боковим сторонам гребня нарізки.

Очікуваний ефект: підвищення продуктивності екструдера, за рахунок зменшення зворотнього потоку розплаву.

Переваги: зведення до мінімуму втрат в продуктивності, за рахунок меншого зворотнього потоку розплаву.

Недоліки: така модернізація складна у виготовленні.

Порівняння: обраний апарат складніший у виготовленні, конструкція менш надійна.

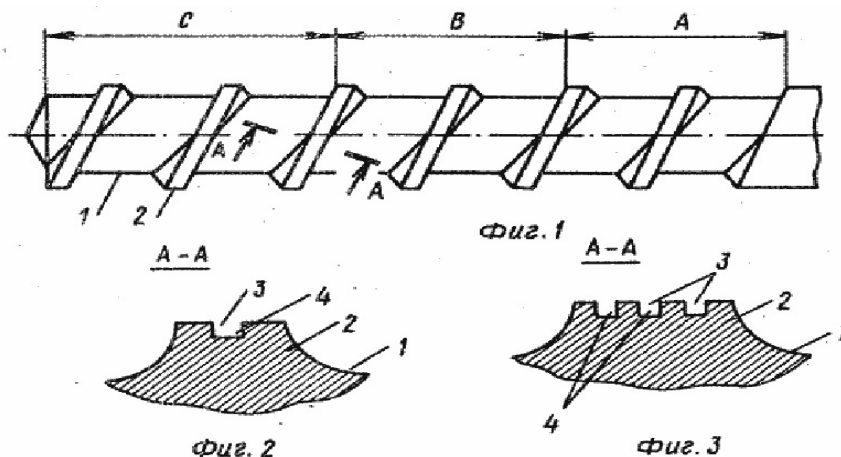


Рис. 3. Черв'як з гвинтовою канавкою

Корисна модель [11] належить до області переробки термопластичних полімерів та композицій на їх основі, зокрема, до екструзійного обладнання. Корисна модель може бути використана у технологічних лініях по виготовленню екструдованих полімерних виробів.

Корисна модель працює таким чином: Розплав, що входить у головку, потрапляє в канал 4 між внутрішньою поверхнею матриці 1 та зовнішньою поверхнею дорна 2, утворюючи перепад тиску, що призводить до утворення 40 сили, яка переміщує матрицю 1 в осьовому напрямку.

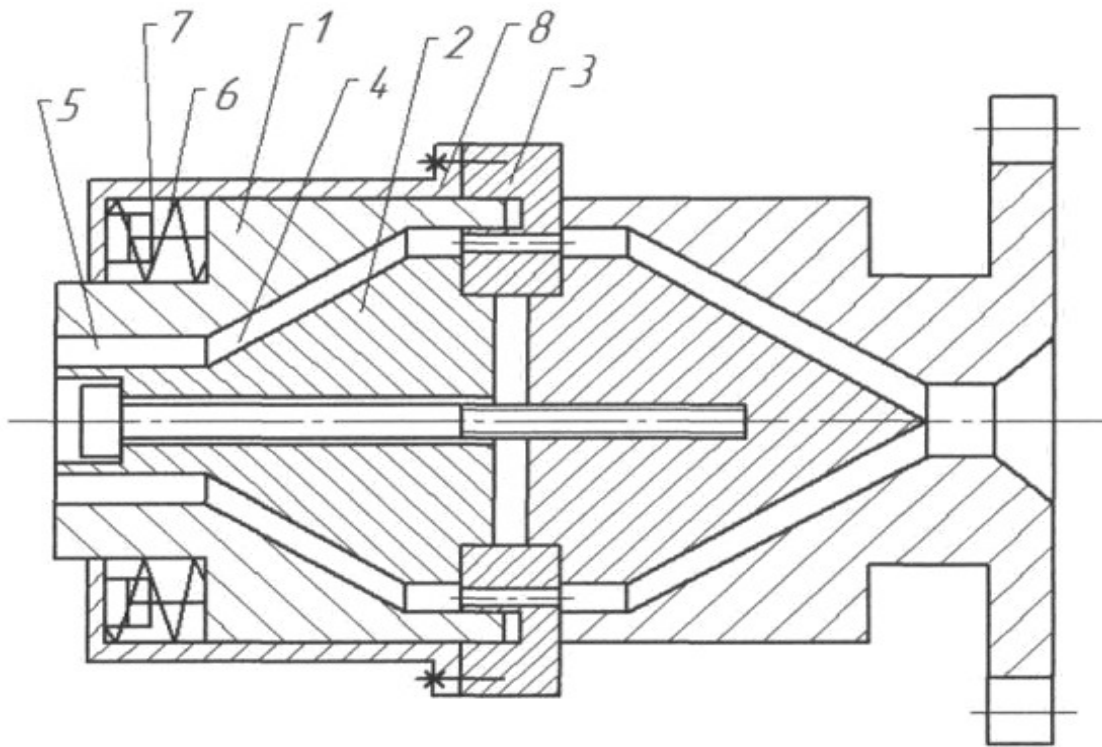


Рис. 3.5. головка екструдера.

В патенті [12] розглянуто екструзійну головку для формування орожного виробу.

Екструзійна головка (див. Фиг.3) для формування порожнистого виробу містить порожнистий корпус 1, розташований на його зовнішній поверхні 2 щонайменше один нагрівник 3, а також розміщений у порожнині корпуса 1 дорн 4, з'єднаний з корпусом 1 за допомогою дорнотримача 5. У дорнотримачі 5 з боку зовнішньої поверхні 2 корпуса виконано щонайменше один глухий отвір 6 з розміщеною в ньому вставкою 7, коефіцієнт теплопровідності матеріалу якої більше за коефіцієнт теплопровідності матеріалу дорнотримача. При цьому вставку 7 зокрема може бути виконано з міді.

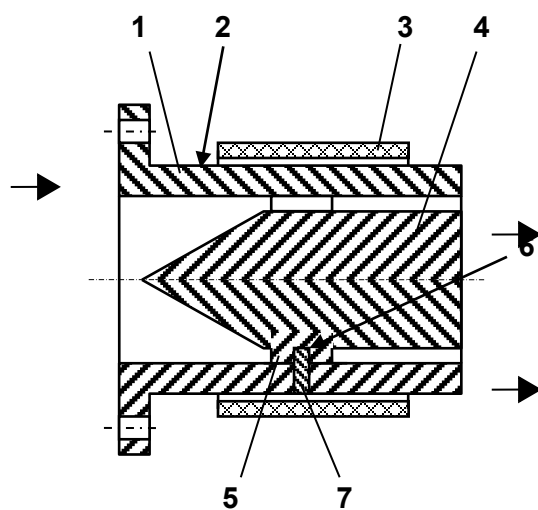


Fig.3

Рис. 3.6 головка экструдера.

4. Вибір та обґрунтування запропонованої модернізації

В результаті патентно-літературного огляду обрано патенти [8] и [11] які відповідають модернізації червяка (основна) та головки (допоміжна).

Основна модернізація в даному проекті заключається в тому, що черв'як екструдера, що містить розташований між витками черв'яка змішувальний елемент (рис.5.9.), виконаний з пазами, відкритими з боку входу і виходу за напрямком руху матеріалу, розділеними між собою основними перегородками, відрізняється тим, що з метою поліпшення якості змішування і підвищення продуктивності екструдера, поверхня змішувального елемента утворена площинами, похилими до поздовжньої осі змішувального елемента. Після виконання такої модернізації створюється додатковий тиск, що забезпечує циркуляцію розплаву і підвищує якість змішування.

Отже виконавши дану модернізацію черв'яка екструдера ми отримаємо більшу річну продуктивність лінії в цілому та отримаємо як економічний ефект по продуктивності машини, а також покращимо якість ізоляційного матеріалу.

Модернізація головки заключається в тому, що екструзійна головка містить матрицю, що формує зовнішню поверхню полімерного виробу, та дорн , що формує внутрішню поверхню виробу. Дорн і матриця закріплені в дорнотримачі, утворюючи канал для протікання розплаву з вихідною ділянкою, причому матриця може рухатись зворотно-поступально вздовж осі, змінюючи переріз каналу. На матриці встановлено пружний і демпфуючий елементи, що передають зусилля від неї на кришку.

Розплав, що входить у головку, потрапляє в канал між внутрішньою поверхнею матриці та зовнішньою поверхнею дорна, утворюючи перепад тиску, що призводить до утворення сили, яка переміщує матрицю в осьовому напрямку. При цьому поперечний переріз каналу збільшується, а тиск в ньому починає зменшуватись. Матриця , переміщуючись в осьовому напрямку, передає зусилля на кришку 8 через демпфер , який зменшує швидкість переміщення, і пружину, яка намагається відвести матрицю в початкове положення. Так як процес відбувається безперервно, то матриця виконує зворотно-поступальні рухи, тим самим поглинаючи пульсації.

Таким чином, використання описаної корисної моделі дозволить отримувати

екструзійні полімерні вироби без наявності дефектів поверхні, зменшивши при цьому кількість бракованої продукції.

5. Розрахунки ЧП- 63

5.1 Розрахунки, які підтверджують працездатність

5.1.1 Параметричний розрахунок черв'яка

Черв'як є основним вузлом черв'ячної машини і призначений для транспортування полімерного матеріалу від завантажувальної лійки до формуючої головки, а також для ретельного перемішування і видавлювання з головки.

Кут підйому гвинтової лінії обумовлює продуктивність і тиск у середині корпуса:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi \cdot D} = \arctg \frac{63}{3,14 \cdot 63} = 17,65^\circ.$$

Товщина гребеня черв'яка для одночерв'ячних машин:

$$e = (0,08 \div 0,12) \cdot D = 0,1 \cdot 63 = 6,3 \text{ мм.}$$

Зазор між черв'яком і гільзою складає:

$$\delta = (0,002 \div 0,003) \cdot D = 0,003 \cdot 63 = 0,189 \text{ мм.}$$

Найбільш часто застосовують профіль нарізки, що характеризується наявністю радіусозакруглення:

$$R = (0,12 \cdot 0,18) \cdot D = 0,15 \cdot 63 = 9,45 \text{ мм.}$$

$$r = (0,06 \cdot 0,12) \cdot D = 0,08 \cdot 63 = 5,04 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу під завантажувальною лійкою складає:

$$h_1 = (0,12 \div 0,016) \cdot D = 0,14 \cdot 63 = 8,52 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає :

$$h_2 = 0,5 \cdot \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h)} \right],$$

$$h_2 = 0,5 \cdot \left[63 - \sqrt{63^2 - \frac{4 \cdot 8,52}{2,1} \cdot (63 - 8,52)} \right] = 3,01 \text{ мм,}$$

де $i=2,1$ –ступінь стиску ПВХ.

Діаметр внутрішнього отвору черв'яка приймаємо: $d_{\text{вн}}=14\text{мм}$;

Діаметр стержня під завантажувальною воронкою:

$$d_1 = D - 2 \cdot h_1 = 63 - 2 \cdot 8,52 = 46,36 \text{ мм;}$$

Діаметр стержня в зоні дозування:

$$d_2 = D - 2 \cdot h_2 = 63 - 2 \cdot 3,84 = 57,32 \text{ мм.}$$

Довжина торпеди;

$$L_{\text{торп}} = (0,6 \div 0,8) \cdot D = 0,7 \cdot 63 = 44,1 \text{ мм};$$

Довжина робочої частини черв'яка приймається:

$$L_{\text{роб}} = (20 \div 30) \cdot D = 25 \cdot 63 = 1575 \text{ мм}.$$

Довжина зони завантаження приймається:

$$L_{\text{загр}} = (1,5 \div 3) \cdot D = 2,5 \cdot 63 = 157,5 \text{ мм}.$$

Довжина зони дозування приймається:

$$L_{\text{доз}} = (10 \div 17) \cdot D = 17 \cdot 63 = 1120 \text{ мм}.$$

Довжина зони стиску приймається:

$$L_{\text{ст}} = L_{\text{роб}} - L_{\text{доз}} - L_{\text{загр}} = 1575 - 1120 - 157,5 = 297,5 \text{ мм}$$

Довжина шліцевого зачеплення приймається: $L_{\text{шл}} = 85 \text{ мм};$

Довжина циліндричної частини черв'яка:

$$L_{\text{цил}} = (2 \div 3) \times D = 2,5 \times 65 = 65 \text{ мм}$$

Довжина відбійної частини приймається:

$$L_{\text{відб}} = (0,1 \div 0,7) \times D = 0,7 \cdot 63 = 40 \text{ мм}$$

Загальна довжина черв'яка:

$$L_0 = L_{\text{роб}} + L_{\text{шл}} + L_{\text{відб}} + L_{\text{торп}} + L_{\text{цилін}} = 1575 + 85 + 40 + 44,1 + 65 = 1810 \text{ мм}$$

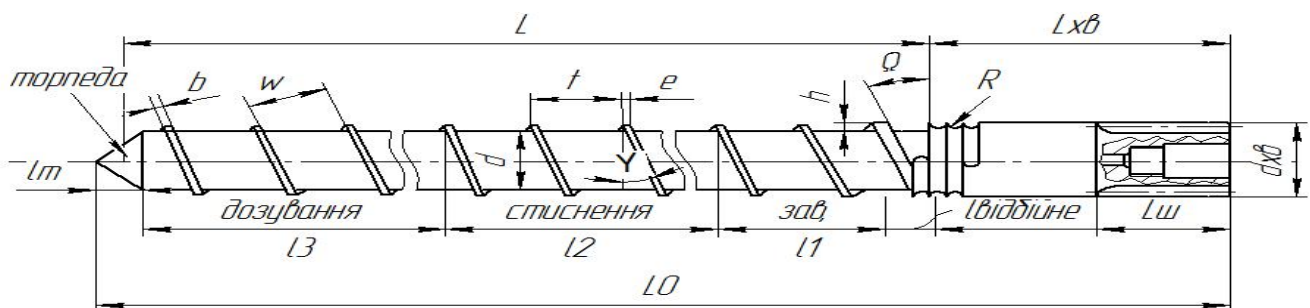


Рис. 5.1. Схема черв'яка представлена на малюнку.

5.1.2 Розрахунок продуктивності черв'ячного екструдера при переробці ПВХ

Мета: визначення максимальної теоретичної продуктивності преса при переробці ПВХ.

Вихідні дані:

Максимальне число обертів черв'яка	$N = 2,67 \frac{\text{об}}{\text{с}}$
Зовнішній діаметр черв'яка	$D = 0,063 \text{ м}$
Крок черв'яка	$T = 0,06 \text{ м}$
Ширина витка	$E = 0,007 \text{ м}$
Число заходів черв'яка	$I = 1$
Діаметр сердечника черв'яка в зоні завантаження	$D_1 = 0,046 \text{ м}$
Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження	$H_1 = 0,0085 \text{ м}$
Глибина гвинтового каналу в зоні дозування	$H_2 = 0,003 \text{ м}$
Середня глибина канавки витка черв'яка.	$H = 0,00575 \text{ м}$
Довжина зони дозування черв'яка	$L_H = 1,12 \text{ м}$

Матеріал –пвх

Ефективна продуктивність жки 3 машини при максимальному числу обертів черв'яка і для сумішей, які добре екструдують.

Розрахунок проведено згідно [11].

$$Q = 60 \cdot V_{cp} \cdot N \cdot I \cdot \rho \cdot \beta,$$

де $\rho = 0,132 \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - густина суміші (пвх),

$\beta = 0,2$ – коефіцієнт заповнення між витками [2],

V_{cp} - середній об'єм простору між двома нитками однозаходового черв'яка і визначається за формулою:

$$V_{cp} = \frac{V_H + V_K}{2},$$

де V_H об'єм гвинтового каналу черв'яка, який відноситься до одного кроку біля завантажувальної воронки:

$$V_H = \frac{\pi \cdot (D^2 - D_1^2)}{4} \cdot (T - E) = \frac{3,14 \cdot (0,063^2 - 0,046^2)}{4} \cdot (0,063 - 0,007) = 81,46 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

V_K - об'єм гвинтового каналу черв'яка, який відноситься до одного кроку біля ГОЛОВКИ:

$$V_K = \frac{\pi \cdot (D^2 - D_2^2)}{4} \cdot (T - E) = \frac{3,14 \cdot (0,063^2 - 0,057^2)}{4} \cdot (0,063 - 0,007) = 31,65 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$V_{cp} = \frac{V_H + V_K}{2} = \frac{81,46 + 31,65}{2} \cdot 10^{-6} = 56,455 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Степінь стиснення:

$$K = \frac{V_H}{V_K} = \frac{81,46 \cdot 10^{-6}}{31,65 \cdot 10^{-6}} = 2,57$$

Розрахункова продуктивність машини:

$$Q = 60 \cdot V_{cp} \cdot N \cdot I \cdot \rho \cdot \beta = 60 \cdot 56,455 \cdot 10^{-6} \cdot 160 \cdot 0,94 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 1 = 101 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Продуктивність машини по технічному завданню:

$$Q = 90 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Повна продуктивність черв'яка зі змінною глибиною сердечника:

$$Q = \alpha_2 \cdot N - \frac{\beta_2 + \gamma_2}{\mu_{ef}} + P,$$

де α_2 - коефіцієнт потоку нагнітання:

$$\alpha_2 = \frac{\pi^3 \cdot (T - T \cdot E) \cdot \sigma}{A + T^2 \cdot B},$$

$$\sigma = 1 - \frac{6,9 \cdot D}{2 \cdot [H_H - H_2]} \cdot \lg \frac{H_H}{H_2} + \frac{D^2}{2 \cdot H_H \cdot H_2} = 1 - \frac{6,9 \cdot 0,063}{2 \cdot [0,00575 - 0,003]} \cdot \lg \frac{0,00575}{0,003} + \frac{0,063^2}{2 \cdot 0,00575 \cdot 0,003} = 93,75$$

$$H_H = H_1 - [H_1 - H_2] \cdot 0,5 = 0,0085 - [0,0085 - 0,0003] \cdot 0,5 = 0,00575_m,$$

де A, B – коефіцієнти, які характеризують конструкцію черв'яка зі змінним сердечником і визначаються за формулами:

$$A = \frac{\pi^2}{H_H \cdot H_2} \cdot \left[\frac{D \cdot (H_H + H_2)}{2 \cdot H_2 \cdot H_H} - 1 \right] = \frac{3,14^2}{0,00575 \cdot 0,000,3} \cdot \left(\frac{0,063 \cdot (0,00575 + 0,003)}{2 \cdot 0,00575 \cdot 0,003} - 1 \right) = 486,5$$

$$B = \frac{2,3}{(H_H - H_2) \cdot D^3} \cdot \lg \left(\frac{H_H \cdot (D + D_2)}{H_2 \cdot (D + D_1)} \right) + \frac{2 \cdot H_2 \cdot H_H + (H_H + H_2) \cdot D}{2 \cdot D^2 \cdot H_H^2} = \frac{2,3}{(0,0085 - 0,003) \cdot 0,063^3} \cdot \lg \left(\frac{0,0085 \cdot (0,063 + 0,057)}{0,003 \cdot (0,063 + 0,046)} \right) + \frac{2 \cdot 0,003 \cdot 0,0085 + (0,0085 + 0,003) \cdot 0,063}{2 \cdot 0,063^2 \cdot 0,0085^2} = 0,1357$$

Отже, коефіцієнт потоку нагнітання, визначений за формулою (4.4), дорівнює:

$$\alpha_2 = \frac{\pi^3 \cdot (T - T \cdot E) \cdot \sigma}{A + T^2 \cdot B} = \frac{3,14^3 \cdot (0,063 - 0,063 \cdot 0,007) \cdot 93,75}{486,5 + 0,063^2 \cdot 0,1357} = 33$$

Коефіцієнт протипотоку β_2 визначається за формулою:

$$\beta_2 = \frac{\pi \cdot (I - I \cdot E)}{12 \cdot L_H \cdot (A + I^2 \cdot B)} = \frac{3,14 \cdot (0,06 - 0,06 \cdot 0,0007)}{12 \cdot 1,12 \cdot (486,5 + 0,063^2 \cdot 0,1357)} = 0,00015$$

Коефіцієнт потоку втрат γ_2 визначається:

$$\gamma_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot \Delta^3 \cdot I^2}{10 \cdot E \cdot L_H \cdot (\pi \cdot D^2 + I^2) \cdot 0,5} = \frac{3,14 \cdot 0,063 \cdot 0,00015^3 \cdot 0,006^2}{10 \cdot 0,007 \cdot 1,12 \cdot (3,14 \cdot 0,063^2 + 0,006^2) \cdot 0,5} = 0,38 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3$$

де $\Delta = 0,00015 \text{ м}$ - величина радіального зазору,

$\mu_{ef} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$ - коефіцієнт динамічної в'язкості, визначений по таблицям в

залежності від величини швидкості зсуву, тобто градієнта швидкості:

$$\left(\frac{DV}{DX} \right) = 3,38 \cdot \frac{V}{H} = 3,38 \cdot \frac{52,75}{0,575} = 310,$$

де $V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,063 \cdot 160}{60} = 0,5275 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - кругова швидкість черв'яка

зовнішньому діаметру.

Отже, максимальна теоретична повна продуктивність черв'яка зі змінною глибиною сердечника, визначена за формулою (4.3), дорівнює:

$$Q = \alpha_2 \cdot N - \frac{\beta_2 + \gamma_2}{\mu_{ef}} + P = 33 \cdot 160 - \frac{0,00015 + 0,38 \cdot 10^{-7}}{35 \cdot 10^{-3}} + 75 = 290 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Повна продуктивність $Q = 0,08 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, отже продуктивність машини по технічному

завданню виконується.

5.1.3 Розрахунок потужності приводу черв'ячного екструдера

Мета: визначити потужність, що витрачається на переробку пвх.

Вихідні дані:

Масова продуктивність машини	$G = 0,0277 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$
Об'ємна витрата розплаву пвх	$V = 87 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$
Тиск в пресі	$P_2 = 75 \cdot 10^6 \text{ МПа}$
Температура матеріалу, що завантажується	$T_1 = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$
Температура стінки	$T_{\text{ц}} = 250^\circ\text{C} = 523\text{K}$
Температура плавлення розплаву	$T_{\text{пл}} = 200^\circ\text{C} = 473\text{K}$
Діаметр сердечника черв'яка на початку зони дозування	$D_H = 0,046\text{м}$
Діаметр сердечника черв'яка в кінці зони дозування	$D_3 = 0,057\text{м}$
Глибина каналу на початку зони дозування	$H_H = 0,0085\text{м}$
Глибина каналу в кінці зони дозування	$H_3 = 0,003\text{м}$
Середнє значення глибини нарізки в зоні подачі	$H_{1\text{ср}} = 0,005\text{м}$
Довжина зони гранулювання черв'яка	$L_2 = 1,2\text{м}$

Розрахунок проведено згідно [11].

Корисна потужність, яка витрачається в черв'ячній машині на переробку матеріалу: (літ)

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_2,$$

де N_1 - потужність, яка витрачається в зоні подачі. Внаслідок її відносної малості нехтуємо нею.

$N_2 = N_2' + N_2''$ - потужність, яка витрачається в зоні плавлення.

N_2' - потужність, яка витрачається на тертя та дисипацію енергії в зазорі Δ між циліндром і поверхнею пробки твердого тіла,

N_2'' - потужність, яка витрачається в зазорі Δ між циліндром і гребенем витка.

$$N_2' = \mu_{ef} \cdot \Delta W_{np}^2 \cdot \frac{T - T \cdot E}{2 \cdot \Delta O \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot L_2,$$

де ΔW_{np} - швидкість переміщення пробки твердої фази циліндра по відношенню до стінки циліндра:

$$\Delta W_{np} = ((\pi \cdot D \cdot N - W_{np} \cdot \cos \varphi)^2 + (W_{np} \cdot \sin \varphi)^2)^{0,5} =$$

$$((3,14 \cdot 0,06 \cdot 2,66 - 0,21 \cdot 0,952846)^2 + (0,21 \cdot 0,307478)^2)^{0,5} = 0,247 \frac{m}{c},$$

$$\text{де } W_{np} = \frac{G}{\rho_H \cdot B \cdot H_{1cp}} = \frac{0,08}{800 \cdot 0,0556 \cdot 0,0085} = 0,21,$$

$$\rho_H = 800 \frac{kg}{m^3} - \text{насипна густина матеріалу,}$$

B - ширина гвинтового каналу:

$$B = \frac{I - E}{I \cdot \cos \varphi} = \frac{0,06 - 0,07}{0,06 \cdot \cos(17^\circ 40')} = 0,0556 m,$$

де $\varphi = 17^\circ 40'$ - кут підйому витка

Величина ефективної в'язкості визначається за середньою температурою пристінного шару і середньому градієнту швидкості:

$$T_{cm} = \frac{T_u + T_{nl}}{2} = \frac{250 + 200}{2} = 225^\circ C = 498 K,$$

де $\gamma = \frac{\Delta W_{np}}{\Delta O}$ - середній градієнт швидкості,

$$\Delta O = \frac{2 \cdot (I - E)}{\rho_H \cdot W_{np} \cdot \sin \varphi} \cdot \phi - \text{товщина шару розплаву над пробкою матеріалу в}$$

міжвитковому просторі,

Параметр ϕ визначається:

$$\phi = \frac{\lambda \cdot (T_{\text{ц}} - T_{\text{нл}})}{C_T \cdot (T_{\text{нл}} - T_1) + r_{\text{нл}}} = \frac{0,17 \cdot (250 - 200)}{1,29 \cdot (200 - 20)} = 0,0366,$$

де $\lambda = 0,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{К}}$ - теплопровідність розплаву пвх,

$C_m = 1,29 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ - питома теплоємність твердої фази пвх,

Величиною $r_{\text{нл}}$ нехтуємо.

Визначаємо величину ΔO :

$$\Delta O = \frac{2 \cdot (I - E)}{\rho_n \cdot W_{\text{нр}} \cdot \sin \varphi} \cdot \phi = \frac{2 \cdot (0,06 - 0,007)}{800 \cdot 0,21 \cdot 0,303478} \cdot 0,0366 = 0,000076 \text{ м}$$

Середній градієнт швидкості:

$$\gamma = \frac{\Delta W_{\text{нр}}}{\Delta O} = \frac{0,247}{0,000076} = 3246 \text{ с}^{-1}$$

Отже, потужність N_2' , яка витрачається на тертя та дисипацію енергії в зазорі Δ між циліндром і поверхнею пробки твердого тіла, дорівнює:

$$N_2' = \mu_{\text{ef}} \cdot \Delta W_{\text{нр}}^2 \cdot \frac{T - T \cdot E}{2 \cdot \Delta O \cdot \text{tg} \varphi} \cdot L_2 = 100 \cdot 0,247^2 \cdot \frac{0,06 - 0,007}{2 \cdot 0,000076 \cdot 0,318471} \cdot 1,12 = 7481 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність N_2'' , яка витрачається в зазорі Δ між циліндром і гребенем витка:

$$N_2'' = \mu_{\text{ef}} \cdot I \cdot E \cdot L_2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2}{\Delta \cdot \text{tg} \varphi} = 100 \cdot 1 \cdot 0,007 \cdot 1,12 \cdot \frac{3,14^2 \cdot 0,63^2 \cdot 2,66^2}{0,00015 \cdot 0,318471} = 4544 \text{ Вт}$$

Потужність в зоні дозування витрачається на подолання тертя плавлення в каналі черв'яка і в зазорі між циліндром і гребенем витка черв'яка.

Потужність, яка втрачається в каналі черв'яка в зоні дозування :

$$N_3' = \mu_{ef} \cdot N^2 \cdot \frac{\pi^3 \cdot (T - I \cdot E) \cdot L_2 \cdot \theta_2}{T}$$

Коефіцієнт θ визначається за формулою:

$$\theta = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4T^2}{\pi^2} + \frac{[D + D_3]^3 + [D + D_H]^3}{3(D_3 - D_H)} + \frac{2,3\pi^2 \cdot D^5}{(T^2 + \pi^2 \cdot D^2) \cdot [H_H - H_3]} =$$

$$\frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 - 4 \cdot 0,063^2}{3,14^2} + \frac{(0,063 + 0,057)^3 - (0,063 + 0,046)^3}{3(0,057 - 0,046)} +$$

$$\frac{2,3 \cdot 3,14^2 \cdot 0,063^5}{(0,06^2 + 3,14^2 \cdot 0,063^2) \cdot (0,0085 - 0,003)} = 0,111$$

Тоді потужність N_3' :

$$N_3' = 0,111 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 2,66^2 \cdot \frac{3,14^3 \cdot (0,06 - 1 \cdot 0,007) \cdot 1,12}{0,06} = 2406 \text{ Вт}$$

Потужність, яка втрачається в зазорі на довжині зони дозування:

$$N_3'' = \mu_{ef} \cdot I \cdot E \cdot L_2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2}{\Delta \cdot \text{tg} \varphi} = 100 \cdot 1 \cdot 0,007 \cdot 1,12 \cdot \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 \cdot 2,66^2}{0,00015 \cdot 0,318471} = 4544 \text{ Вт}$$

Потужність, яка втрачається в каналі формувальної головки:

$$N_2 = V \cdot P_2 = 87 \cdot 10^{-6} \cdot 75 \cdot 10^6 = 6525 \text{ Вт} = 6,52 \text{ кВт},$$

Загальні втрати потужності в черв'ячній машині складають:

$$N_{інд} = N_2' + N_2'' + N_3' + N_3'' + N_2 = 7,48 + 4,54 + 2,4 + 4,54 + 6,52 = 25,5 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна приводу машини:

$$N_H = \frac{N}{\varepsilon} = \frac{25,5}{0,7} = 36,4 \text{ кВт},$$

де $\varepsilon = 0,4 \dots 0,8$ - коефіцієнт, який враховує втрати енергії в приводі черв'ячної машини.

Встановлено двигун потужністю $N = 37 \text{ кВт}$.

5.2 Розрахунки, які відповідають модернізації черв'яка

5.2.1 Розрахунок черв'яка на стійкість та міцність

Мета: перевірити черв'як на стійкість та міцність

Вихідні дані:

Потужність, яка споживається черв'яком

$$N = 37 \text{ кВт},$$

Швидкість обертання черв'яка

$$n = 160 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

Довжина робочої частини черв'яка

$$L = 1,56 \text{ м},$$

Допустиме напруження розтягу для Сталь 40ХН2МА $[\sigma]_p = 200 \text{ МПа}$

Розрахунок проведено згідно [5].

На черв'як діє осьове зусилля, яке виникає у гвинтовому каналі черв'яка, та зусилля, що виникає при видавлюванні перед головкою.

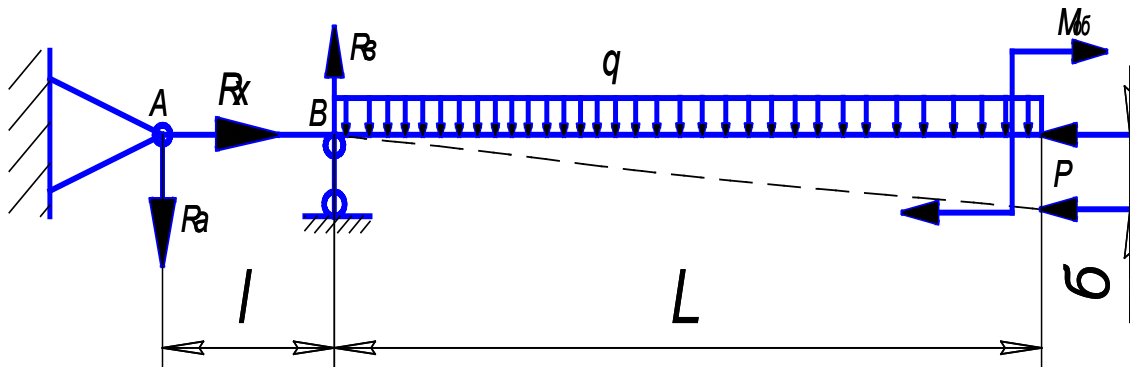


Рис. 5.2 Схема сил, що діють на черв'як

Крутний момент, який діє на черв'як:

$$M_{кр} = \frac{9550 \cdot N}{n} = \frac{9550 \cdot 37}{160} = 2208 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для визначення розрахункової схеми перевіримо черв'як на гнучкість:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{I},$$

де λ - гнучкість черв'яка;

$\mu = 2$ – коефіцієнт, який залежить від способу закріплення кінців валу [10].

I - радіус інерції перерізу черв'яка, який визначається за формулою:

$$I = \sqrt{\left(\frac{I_{\min}}{F}\right)},$$

де I_{\min} - момент інерції поперечного перерізу черв'яка, визначений за формулою:

$$I_{\min} = \frac{\pi \cdot (D_{\min}^4 - D_{\text{отв}}^4)}{64} = \frac{3,14 \cdot (0,046^4 - 0,022^4)}{64} = 0,000000208 \text{ м}^4 = 0,208 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

де F - площа поперечного перерізу черв'яка, визначена за формулою:

$$F = \frac{\pi \cdot (D_{\min}^2 - D_{\text{отв}}^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,046^2 - 0,022^2)}{4} = 0,00128 \text{ м}^2$$

За формулою (4.22) знаходимо радіус інерції:

$$I = \sqrt{\left(\frac{I_{\min}}{F}\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,208 \cdot 10^{-6}}{0,00128}\right)} = 0,0127 \text{ м}$$

Гнучкість черв'яка:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{I} = \frac{2 \cdot 1,56}{0,0127} = 244$$

Критична сила:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{4 \cdot L^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 20,8}{4 \cdot 1,56^2} = 44240 \text{ Н}$$

Отже, $P_{kr} > P$

Умова стійкості черв'яка:

$$\sigma_{сж} \leq [\sigma]_y,$$

$$\text{де } \sigma_{сж} = \frac{P}{F_{\min}} = \frac{42800}{0,00128} = 33,4 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження на стійкість :

$$[\sigma]_y = \varphi \cdot [\sigma]$$

де $\varphi = 0,76$ - коефіцієнт зниження напружень,

$[\sigma]$ - основне допустиме напруження, знайдене за формулою:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_d}{n_y} = \frac{1000 \cdot 0,76}{2} = 380 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{сж} < [\sigma]_y$$

Умова стійкості виконується.

Максимальний згинаючий момент:

$$M_{\max} = \frac{Q_1 \cdot L^2}{2} = \frac{Q \cdot L}{2} = \frac{38 \cdot 1,755}{2} = 66,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент опору перерізу черв'яка по сердечнику:

$$W = \frac{\pi \cdot (D^4 - D_1^4)}{32 \cdot D} = \frac{3,14 \cdot (0,046^4 - 0,0022^4)}{32 \cdot 0,046} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{66,7}{9 \cdot 10^{-6}} = 73,7 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{екв} = \sigma_{сж} + \sigma_u = 73,7 + 33,4 = 107 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{екв} < [\sigma]_p$$

$$107 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується. Черв'як з даною геометрією підходить заміцністю та стійкістю.

5.2.2 Розрахунок тиску, який розвиває черв'як

Мета: визначити тиск, який розвиває черв'як.

Вихідні дані:

Встановлена потужність $N = 37 \text{ кВт}$

Максимальне число обертів черв'яка $N_1 = 2,67 \frac{\text{об}}{\text{с}}$

Зовнішній діаметр черв'яка $D = 0,063 \text{ м}$

Внутрішній діаметр черв'яка $D_g = 0,057 \text{ м}$

ККД приводу преса ЧП-63 $\eta = 0,8$

Розрахунок проведено згідно [11], програма розрахунку приведена в додатку Б.

Питомий тиск, який розвиває черв'як:

$$P = \frac{P_z}{F} = \frac{P_z}{\pi \cdot (R^2 - R_g^2)} = \frac{42800}{3,14 \cdot (0,0315^2 - 0,0285^2)} = 75 \text{ МПа},$$

Приймаємо розрахунковий тиск рівним $P = 75 \text{ МПа}$.

5.3 Розрахунок головки

Мета: розрахунок і визначення таких розмірів головки та тиску, котрі забезпечують максимальну продуктивність.

Вихідні дані:

Довжина ділянки кільцевого каналу $R_H = 0,019 \text{ м}$

Внутрішній радіус кільцевого каналу $R_6 = 0,015 \text{ м}$

Довжина ділянки кільцевої щілини $L_2 = 0,015 \text{ м}$

Середній радіус круга на вході матеріалу в кільцеву щілину $R_0 = 0,017 \text{ м}$ Середній радіус круга на виході матеріалу із кільцевої щілини $R_1 = 0,0125 \text{ м}$

Висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину $\Delta_1 = 0,004 \text{ м}$

Висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини $\Delta_2 = 0,0025 \text{ м}$

Довжина ділянки конічної частини $L_3 = 0,024 \text{ м}$

Середній радіус круга на вході матеріалу в кільцеву щілину $R_2 = 0,01125 \text{ м}$

Середній радіус круга на виході матеріалу із кільцевої щілини $R_3 = 0,0065 \text{ м}$

Висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину $\Delta_3 = 0,0025 \text{ м}$

Висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини $\Delta_4 = 0,005 \text{ м}$

Діаметр циліндричного каналу каналу $D_4 = 0,009 \text{ м}$

Довжина циліндричного каналу $L_4 = 0,008 \text{ м}$

Об'ємна продуктивність розплаву пвх $Q_1 = 24,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ Об'ємна

продуктивність розплаву $Q_2 = 28 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$

Розрахунок проведено згідно [11].

Розрахункову схему приведено на рисунку 4.5

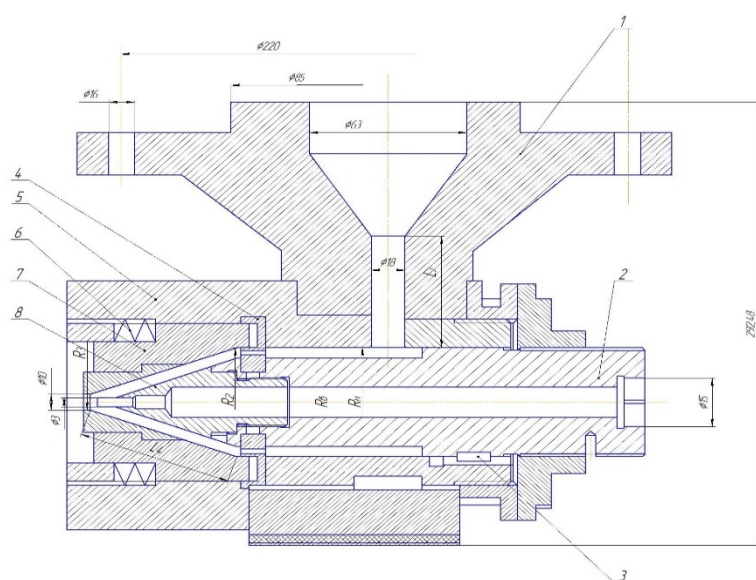


Рис. 5.3 - Головка экструдера

Профіль головки потрібно розглядати як профіль, що складається з каналів простих форм. Тоді загальний коефіцієнт геометричної форми для всієї головки можна порахувати як суму опорів окремих ділянок проходу складного профілю з рівняння:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}}$$

В даному випадку матеріал проходить через головку, яку можна уявити як головку, що складається з наступних каналів: 2-х циліндричних і 2-х конічних.

Коефіцієнт геометричної форми круглого кільцевого каналу:

$$K_1 = \frac{\pi}{B \cdot L_1} \cdot (R_H^4 - R_B^4 - \frac{(R_H^2 - R_B^2)^2}{2,3 \cdot \lg \frac{R_H}{R_B}}) = \frac{3,14}{0,08 \cdot 0,003} \cdot (0,019^4 - 0,015^4 - \frac{(0,019^2 - 0,015^2)^2}{2,3 \cdot \lg \frac{0,019}{0,015}}) = 0,111 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

Коефіцієнт геометричної форми конічного кільцевого каналу з конічною щілиною (2 ділянка):

$$K_2 = \frac{\pi \cdot (R_0 \cdot \Delta_2 - R_1 \cdot \Delta_1)}{6 \cdot L_2 \cdot M_2} = \frac{3,14 \cdot (0,017 \cdot 0,0025 - 0,01125 \cdot 0,004)}{6 \cdot 0,015 \cdot (-8,957)} = 0,9 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

де M_2 - коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$M_2 = \frac{2,3 \cdot (R_0 - R_1)^2}{[R_0 \cdot \Delta_2 - R_1 \cdot \Delta_1]^2} \cdot \lg \frac{R_0 \cdot \Delta_2}{R_1 \cdot \Delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\Delta_1 - \Delta_2)}{(R_0 \cdot \Delta_2 - R_1 \cdot \Delta_1) \cdot \Delta_1 \cdot \Delta_2} - \frac{\Delta_1^2 - \Delta_2^2}{2 \cdot \Delta_1^2 \cdot \Delta_2^2} =$$

$$\frac{2,3 \cdot (1,7 - 1,125)^2}{(1,7 \cdot 0,25 - 1,125 \cdot 0,4)^2} \cdot \lg \frac{1,7 \cdot 0,25}{1,125 \cdot 0,4} - \frac{(1,7 - 1,125) \cdot (0,4 - 0,25)}{(1,7 \cdot 0,25 - 1,125 \cdot 0,4) \cdot 0,4 \cdot 0,25} - \frac{0,4^2 - 0,25^2}{2 \cdot 0,4^2 \cdot 0,25^2} = -8,957$$

Коефіцієнт геометричної форми конічного кільцевого каналу з конічною щілиною (3 ділянка):

$$K_3 = \frac{\pi \cdot (R_2 \cdot \Delta_4 - R_3 \cdot \Delta_3)}{6 \cdot L_3 \cdot M_3} = \frac{3,14 \cdot (0,01125 \cdot 0,005 - 0,0065 \cdot 0,0025)}{6 \cdot 0,024 \cdot 5,37} = 0,16 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

де M_3 - коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$M_3 = \frac{2,3 \cdot (R_2 - R_3)^2}{[R_2 \cdot \Delta_4 - R_3 \cdot \Delta_3]^2} \cdot \lg \frac{R_2 \cdot \Delta_4}{R_3 \cdot \Delta_3} - \frac{(R_2 - R_3) \cdot (\Delta_4 - \Delta_3)}{(R_2 \cdot \Delta_4 - R_3 \cdot \Delta_3) \cdot \Delta_3 \cdot \Delta_4} - \frac{\Delta_3^2 - \Delta_4^2}{2 \cdot \Delta_3^2 \cdot \Delta_4^2} =$$

$$\frac{2,3 \cdot (1,125 - 0,65)^2}{(1,125 \cdot 0,5 - 0,65 \cdot 0,25)^2} \cdot \lg \frac{1,125 \cdot 0,5}{0,65 \cdot 0,25} - \frac{(1,125 - 0,65) \cdot (0,25 - 0,5)}{(1,125 \cdot 0,25 - 0,65 \cdot 0,5) \cdot 0,25 \cdot 0,5} -$$

$$- \frac{0,25^2 - 0,5^2}{2 \cdot 0,5^2 \cdot 0,25^2} = 5,37$$

Коефіцієнт геометричної форми круглого циліндричного каналу (4 ділянка):

$$K_4 = \frac{\pi \cdot D^4}{128 \cdot L_4} = \frac{3,14 \cdot 0,009^4}{128 \cdot 0,008} = 0,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

Загальний коефіцієнт геометричної форми для всієї головки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}} = \frac{1}{\frac{1}{0,111 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{0,9 \cdot 10^{-9}} + \frac{1}{0,16 \cdot 10^{-7}} + \frac{1}{0,2 \cdot 10^{-7}}} = 4,31 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3,$$

Визначимо тиск у головці при переробці пвх:

$$\Delta P = \frac{Q_1 \mu_1}{K} = \frac{28 \cdot 10^{-6} \cdot 2400}{4,31 \cdot 10^{-9}} = 15,59 \text{ МПа},$$

де $\mu_1 = 2400 \text{ Па} \cdot \text{с}$ - динамічна в'язкість розплаву пвх .

Перепад тиску в головці не перевищує заданим.

5.4 Тепловий розрахунок

Мета: визначити кількість теплоти, яку необхідно підвести електронагрівачами.

Вихідні дані:

Потужність, встановлена електродвигуном	$N = 37 \text{ кВт}$
Продуктивність по ПВХ	$G_M = 100 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$
Початкова температура матеріалу	$T_n = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$
Кінцева температура матеріалу	$T_k = 180^\circ\text{C} = 453\text{K}$
Температура поверхні кожуха	$T_{\text{кож}} = 45^\circ\text{C} = 318\text{K}$
Температура повітря	$T_{\text{в}} = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$
Ширина теплообмінної поверхні	$B = 0,23 \text{ м}$
Довжина теплообмінної поверхні	$L = 1,382 \text{ м}$
ККД приводу преса	$\eta_1 = 0,6$
ККД електродвигуна.	$\eta_2 = 0,9$

Тепловий баланс преса:

$$Q_n + Q_{q_1} = G_M \cdot C_M \cdot (T_k - T_n) + Q_{\text{втр}},$$

де Q_N - кількість тепла, яке виділяється при використанні потужності і

визначене: $Q_n = 860 \cdot N \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 860 \cdot 37 \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 17183 \frac{\text{ккал}}{\text{год}} = 23,4 \text{ кВт}$,

$Q_{\text{втр}}$ - втрати тепла в оточуюче середовище:

$$Q_{\text{втр}} = Q_K + Q_{\text{випр}},$$

де Q_K - втрати тепла в оточуюче середовище конвекцією:

$$Q_K = \alpha_K \cdot F \cdot (T_{\text{кож}} - T_{\text{в}}),$$

де F - теплообмінна поверхня преса:

$$F = B \cdot L = 0,23 \cdot 1,382 = 0,318 \text{ м}^2$$

де α_K - коефіцієнт тепловіддачі від стінки корпуса в оточуюче середовище, визначений за формулою:

$$\alpha_K = \frac{Nu \cdot \lambda_M}{H}$$

де Nu - критерій Нуссельта,

λ_M - коефіцієнт теплопровідності при середній температурі,

Критерій Нуссельта визначається за формулою:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)_m^n,$$

де Gr - критерій Грасгофа, визначений за формулою:

$$Gr = \frac{\beta \cdot B^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\mu^2}$$

Розрахункова температура:

$$T_P = \frac{T_{кож} + T_v}{2} = \frac{45 + 20}{2} = 32,5^\circ C = 305,5 K$$

Знаходимо значення теплофізичних параметрів та критеріїв подібності при розрахунковій температурі:

$$\lambda_M = 9,6 \frac{Дж}{м \cdot год \cdot ^\circ C} - \text{коефіцієнт теплопровідності};$$

$$\nu_M = 16,48 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с} - \text{коефіцієнт кінематичної в'язкості};$$

$$Pr = 0,3 - \text{критерій Прандтля}$$

За формулою (4.40) знаходимо критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{\beta \cdot B^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\mu^2} = \frac{1}{273 + 32,5} \cdot \frac{0,23^3 \cdot 9,8 \cdot 10^{12}}{16,48^2} \cdot (45 - 20) = 35,85 \cdot 10^6$$

Добуток $Gr \cdot Pr$:

$$Gr \cdot Pr = (35,85 \cdot 10^6 \cdot 0,7) = 25,09 \cdot 10^6$$

Критерій Нуссельта знаходимо за формулою (4.39) :

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)_m^n = 0,54 \cdot (25,09 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}} = 38,22$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки корпуса в оточуюче середовище, визначається за формулою (4.38):

$$\alpha_K = \frac{Nu \cdot \lambda_M}{H} = \frac{38,22 \cdot 0,0023}{0,23} = 14,3 \cdot 10^3 \frac{Дж}{м^2 \cdot год \cdot ^\circ C}$$

Втрати теплоти в оточуюче середовище конвекцією за формулою (4.37):

$$Q_k = \alpha_k \cdot F \cdot (T_{кож} - T_в) = 3,84 \cdot 0,318 \cdot (45 - 20) = 129240 \frac{\text{Дж}}{\text{год}} = 0,04 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

Втрати теплоти в оточуюче середовище випромінюванням:

$$Q_{випр} = 4,9 \cdot E \cdot F \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) = 4,9 \cdot 0,6 \cdot 0,318^2 \cdot \left(\left(\frac{306,5}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) = 54,3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{год}} = 0,015 \text{ кВт}$$

де $E = 0,6$ - степінь чорноти матеріала кожуха,

$T_1 = 306,5^\circ\text{C} = 579,5\text{K}$ - абсолютна температура кожуха,

$T_2 = 293^\circ\text{C} = 566\text{K}$ - абсолютна температура оточуючого середовища,

Втрати тепла в оточуюче середовище визначаємо за формулою (4.36):

$$Q_{втр} = Q_k + Q_{випр} = (129,4 + 54,3) \cdot 10^3 = 183,7 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{год}} = 0,05 \text{ кВт},$$

Кількість тепла, яке підводиться до корпусу електронагрівачами:

$$Q_{q_1} = G_m \cdot C_m \cdot (T_k - T_n) + Q_{втр} - Q_n = (100 \cdot 2,3 \cdot (180 - 20) + 183,7 - 71996) \cdot 10^3 = 36179 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{год}} = 10 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

Для

забезпечення нагрівання матеріалу до заданої температури і компенсації втрати тепла в оточуюче середовище в пресі встановлено 10 індукційних нагрівників.

6.2 Стартап проект

В даному розділі проводимо маркетинговий аналіз стану ринку для стартап проекту та можливості реалізації продукції для потенційних партнерів та покупців. Було виконано наступні пункти щоб продемонструвати доцільність проекту.

6.2.1 Опис ідеї проекту

Основною ідеєю є впровадження модернізованого обладнання зокрема, черв'яка екструдерів які використовуються на підприємствах по нанесення ізоляцію на кабель продаж модернізованого обладнання. Заохоченням до співпраці буде зменшення

витрати підприємств на експлуатацію . Також можливе застосування даної модернізації не лише на лініях нанесення ізоляцію, а й на інших лініях що використовують екструдер, не обмежуючись продуктами з ПВХ.

Опис ідей здійснено в Таблиця 6.2.1.

Таблиця 6.2.1 – Опис ідеї стартап–проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовити модернізовані конструкції черв'яка та головки	Виготовлення пристрою для підвищення якості ізоляції	Усунення слабкого ізоляція кабеля
		Необхідна надійності використання обладнання
		Вища якість продукції
	Застосування кращого обладнання	Підвищення енергоефективності проведення процесу Зменшення витрат на придбання обладнання та його ремонту

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів []:

- визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначено попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів–замінників чи товарів–аналогів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку [];
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні); в)

кращі значення (S, сильні), наведено в таблиці 6.1.2

Таблиця 6.2.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

	(потенційні)			
Техніко-еконо-	товари/концепції конкурентів	W (слабка	N (нейт-	S (сильна

стики ідеї	Мій проект	курент 1	Кон- курент 2	Конку- рент 3	сто- рона)	сторона)	сто- рона)
Вартість, грн	2300	2000	2200	2100	—	+	—
Продуктив- ність, т/год	0.09	0.06	0.08	0.07	—	+	—
Вихід бра- кованої продукції, т/год	0.01	0.015	0.02	0.025	—	+	—
Питома енергоємність, кВт/кг	102	119	120	123	—	—	+

Основною перевагою над конкурентами є: гарантоване отримання більш високих результатів за короткий термін роботи модернізації. Проект працює за трьома основними критеріями роботи – надійність, ефективність та якість виробленого продукту. Завдяки співпраці оновлене підприємство стане більш

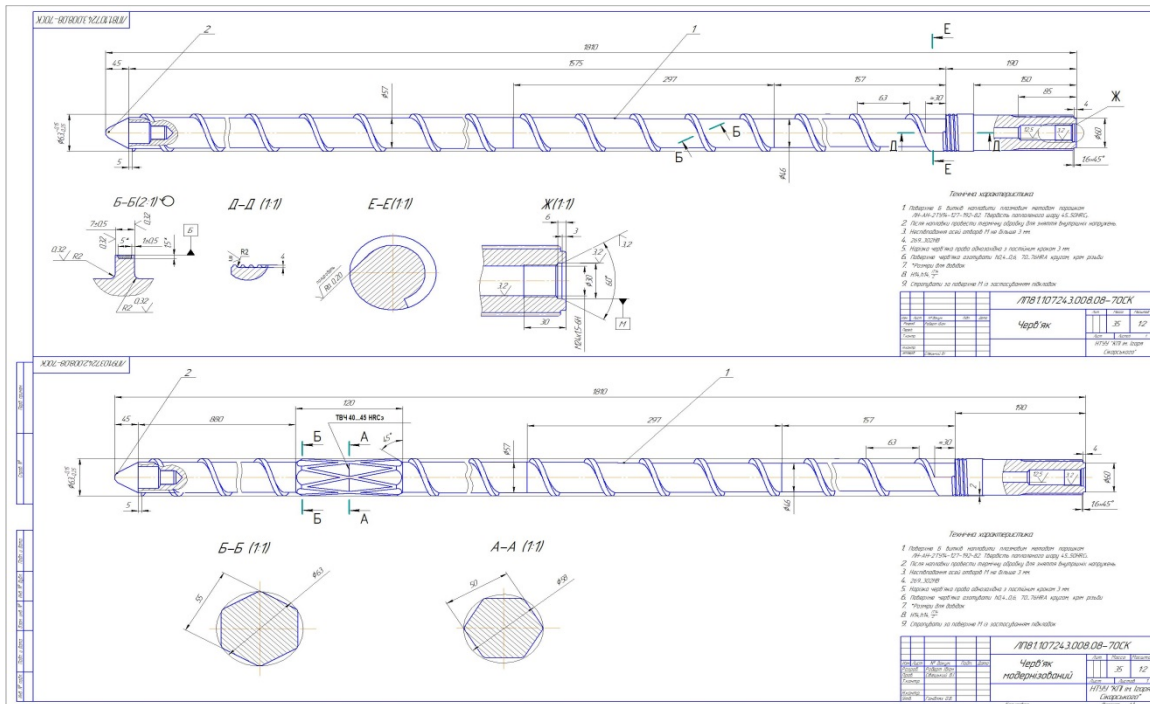
енергоефективним, підвищиться якість продукції, що виготовляється. Тобто підприємство стане більш конкурентоспроможним на ринку в Нігерії та світі.

6.2.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Черв'ячні машини використовуються при різних технологічних процесах: для змішування і грануляції матеріалів; екструзії плівок, труб, профілів, листів, накладання ізоляції і оболонок на дроти і кабелі.

Конструкцію Базового і модернізованого черв'як екструдера наведено на рисунку.

6.1.1



1 – Черв'як, 2 – Торпеда

Рисунок 6.2.1 Базовий і модернізований черв'як

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Нова конструкція черв'яка екструдера, яка дозволить отримати кращу ізоляцію на кабель і зменшить брак.

На даний момент відомо багато конструкцій екструдерів, однак процес ізоляції можна зробити ефективнішим.

6.2.3 Аналіз техніко-економічних показників

Техніко-економічний аналіз потенційних переваг ідеї показав чим відрізняється проект від існуючих аналогів чи замінників. Порівняно з дійсними пропозиціями на ринку передбачає: впровадження модернізацій приводу та нової моделі обрахунку; визначення основного кола конкурентів; проводиться порівняльна статистика показників; для власного виробництва визначаються показники, що мають як і гірші значення, аналогічні та кращі значення, наведено в Таблиця 6.2.3

Характеристика	Слабка	Нейтральна	Сильна
Модернізація черв'яка	Витрати на виготовлення	Деякі частини залишаються стандартними	Менша ступінь зношування
Модернізація зміщуючої секції черв'яка	Витрати на виготовлення	Деякі частини залишаються стандартними	Підвищення знішування ефективності
Розрахунок ефективності	Витрата на купівлю ліцензованого забезпечення та ЕОМ		Збільшення зміщуючої ефективності

Важливим фактором також є спроможність надати конкурентні переваги на ринку. Для цього при проведенні його аналіз розглядають основні виробники, як українські так і зарубіжні, новачки в індустрії а також наявність стартапів зі схожим напрямом.

6.2.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.18 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.2.4 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Висока актуальність обв'язувального обладнання у різних галузях	Збільшення чистого прибутку. Покращення якості продукту	- Високий інтелектуальний потенціал компанії - Інноваційність технології - Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження - Адаптованість продукту суміжні ринки - Підвищення продуктивності процесу та якості товару
2.	Зменшення виходу бракованого матеріалу	Збільшення продуктивності	Інноваційна конструкція обв'язувальної машини
3.	Зниження енергозатрат на виробництво	Зменшення ціни продукту	Інноваційна конструкція

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 6.1.17). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 6.2.5– Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на то- вар/послугу
1.	3000-10000 грн.	4000-15000 грн – ціни високі	Підприємства великі, середні та малі(цехи)	1000-3000 грн/1 консультація, в онлайн безкоштовно.
2.	Сама модернізація робиться коштом підприємства (клієнта) оплата йде тільки за обсяги роботи. 60 грн / година роботи	Розробка нового обладнання 100 грн/1 год	Дивлячись від розміру підприємства (клієнта) та обсягів виконання: 2000 -5000 грн/1 год (для всього колективу)	500 грн/1год (для всього колективу)

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 6.1.6).

Таблиця 6.2.6 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рек- ламного звернення
1.	Розв'язок проблем в діяльності	Інтернет та соціальні мережі	Запевнення в швидкості та якості, створення партнерськ- их стосунків з клієнтом.	Запевнити в швидкому розв'язку та відповідей на всі питання, що турбують.	«Довговіч ність і надійність »
2.	Пошук варіантів розвитку клієнта (покращення параметрів, зменшення затрат тощо).	Інтернет та соціальні мережі, реклама	Надання всієї інформації про Нас, надання гарантій та картки клієнта з подальшим сервісом.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Все краще для вас »
3.	Бажання здійснити вигідну покупку, що буде актуальною тривалий час.	Інтернет та соціальні мережі, відеочати, реклама виставки та друкована продукція	Надання всієї інформації та гарантія на покупку.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Краще не знайдете»

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

6.2.5 Висновки

В процесі розробки стартап проекту було визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристик ідеї проекту, ключові переваги концепції потенційного товару, та меж встановлення ціни.

Відповідно до проведеного аналізу було доведено що проект має великий попит на ринку та у заводі машинобудівної. Через те що ціна продукту низька на відміну від інших конкурентів,яуі в основому виробляють аналогічні вироби, проект має значну конкурентоспроможну позицію.

6.3 Охорона праці

Охорона праці вивчає можливі причини нещасних випадків на виробництві, професійні захворювання, вибухи, пожежі, створення безпечних для людини умов праці, а також розробляє систему заходів для усунення цих причин. Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України "Про охорону праці", прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року.

Цей Закон визначає основні положення щодо конституційного права громадян про охорону життя здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини з питань безпеки праці та виробничого середовища, встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Дотримання законодавчих нормативних актів про охорону праці веде до зниження травматизму на виробництві.

Відповідно до теми дипломного проекту "Екструдер для виробництва профільних виробів з модернізацією черв'яка" для безпечної роботи обслуговуючого персоналу лінії для підприємств хімічної промисловості забезпечено умови, що відповідають державним та галузевим стандартам, а також санітарним нормам та правилам.

Випадки травматизму, професійних та професійно зумовлених захворювань, які мають місце на підприємствах часто виникають через порушення відповідних норм техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки при проектуванні підприємств, технологічних процесів, основного та допоміжного виробничого устаткування. Часто окремі недоліки або помилки, допущені в проекті, стають побічними або безпосередніми причинами аварій, пожеж, вибухів, нещасних випадків, професійних та професійно зумовлених захворювань. Тому розробка комплексу питань з охорони праці є обов'язковою вимогою.

Для зниження травматизму на виробництві був проведений науковий аналіз умов праці, в результаті якого були визначені небезпечні виробничі фактори, які виникають при експлуатації одночерв'ячного екструдера лінії для вироблення ПВХ профілю. Шкідливими та небезпечними виробничими факторами є небезпека ураження електричним струмом, пожежна небезпека, виробничий шум, виробниче освітлення, повітря робочої зони.

На стадії експлуатації та в процесі обслуговування оператор знаходиться в цеху з площею приміщення $S=100$ і об'ємом приміщення $V=1200$.

Шкідливими та небезпечними виробничими факторами є:

- безпека ураження електричним струмом;
- пожежна безпека;
- виробничий шум;
- виробниче освітлення;
- повітря робочої зони.

6.3.1 Електробезпека

За класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення цеху, де встановлена дана лінія відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою.

За характером навколишнього середовища, приміщення характеризується як вологе (відносна вологість повітря у приміщенні близько 75%).

Оскільки для роботи лінії використовується напруга 220/380 В частотою 50 Гц, то використовуємо трифазну трипроводову мережу з ізольованою нейтраллю. Мережа з ізольованою нейтраллю в ізольованому режимі набагато безпечнішою при торканні до фазового дроту.

Засоби забезпечення електробезпеки:

а) в робочому режимі

- Щоб забезпечити неможливість дотику або небезпечного наближення до струмоведучих частин забезпечують їх недосяжність за допомогою розташування на недосяжній висоті, більш 2,5 м., огорож та блокувань;

Покриття струмоведучих частин або відокремлення їх від інших частин прошарком діелектрика забезпечує протікання струму по потрібному шляху та безпечну експлуатацію електрообладнання. Застосовують такі види ізоляції: робоча, допоміжна, подвійна ізоляція, яка виконана з діелектричних матеріалів з питомим опором не менше ніж $R = (10^8 \dots 10^{17}) \text{ Ом} \cdot \text{см}$, та посилена.

- наявність позначень на електричних частинах (фарбування, надписи,

позначення проводів різними кольорами: фаза А – жовтий, фаза В – зелений, фаза С – червоний, нульовий, або нульовий захисний – жовтий із зеленими полосами);

б) в аварійному режимі:

- захисне заземлення, опір якого не має перевищувати: у мережах до 1000В – 4 МОм, у мережах понад 1000В – не більше 0,5 МОм.

Ці заходи проведені згідно ГОСТ 12.1.030 – 86.

Забезпечення електробезпеки при проектуванні апаратів для даної лінії є дуже важливим чинником, знижує смертність та травматизм серед обслуговуючого персоналу в виробничих умовах.

6.3.2 Повітря робочої зони

Умови роботи на розроблюваному екструдері та лінії в цілому за ГОСТ 12.1.005-88/98 відносяться до категорії середньої тяжкості (енерговитрати 150...200 ккал/год).

Склад повітря робочої зони залежить від параметрів метеорологічних умов:

температури (у холодний період року $t=19-21^{\circ}\text{C}$, у теплий період року $t=21-23^{\circ}\text{C}$), відносної вологості (60 – 40%), а також кількості шкідливих речовин, що виділяються машиною при плавленні ПВХ, при цьому виділяється окис вуглецю, некрайові вуглеводороди, органічні кислоти, альдегіди і інші токсичні речовини.

Таблиця 6.3.1 Параметри повітря робочої зони

Сезон року	Категорія робіт	Допустима температура °C	Фактична температура °C	Допустима відносна вологість %	Фактична відносна вологість %	Допустима швидкість руху повітря, м/с	Фактична швидкість руху повітря, м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодний період року	Легка I	19-25	19-20	V>75	40-65	V>0,2	0,2
Теплий період року	Легка I	19-25	20-25	V>75	40-70	V>0,2	0,2

Величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочих приміщеннях вибирається за ДСН 3.36.042-19

Засобами захисту органів дихання можуть бути респіратори, протигази, для зменшення шкідливої дії, повітряні апарати МПА, в разі пожежі чи збільшеними викидами небезпечних речовин, при ліквідації витоків газу чи шкідливих рідин.

Для безпосереднього відводу шкідливого повітря чи газів, від місця їх виникнення чи виділення, під головкою черв'ячного екструдера встановлюється вентиляційний ковпак закритого типу з фільтром продуктивністю 360 м²/год. Видалення шкідливих речовин супроводжується подальшим очищенням повітря, що відповідає вимогам ГОСТ 12.1.005-88/98.

6.3.3 Виробничий шум

Шум, який створюється при роботі екструдера та іншого устаткування лінії, постійний. Основними джерелами шуму при роботі є вали та черв'яки, що обертаються, електродвигуни, вентилятори та інше устаткування, в яких шум досягає 90 дБА. За своєю природою шум у даному випадку механічний гідроаеродинамічний.

Зниження шуму досягається шляхом шумопоглинання. Щоб досягнути максимального ефекту використання шумопоглинаючого покриття, вкриваємо ним не менше 60% внутрішньої площі. Вихлопні патрубки насосів з'єднані з герметичним

каналом, який забезпечує ізоляцію шуму вихлопа.

Звукоізолююча здатність дверного проїому приміщення повинна бути не нижче 30 дБА.

Стіни і перекриття цього приміщення забезпечені звукоізолюючим облицюванням з коефіцієнтом звукопоглинання не нижче 0,7 і мають звукоізолюючу здатність не нижче 50 дБА.

Для зменшення виробничого шуму передбачено проведення наступних заходів:

- встановлення екранів ($\Delta L = 15$ дБА);
- своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться ($\Delta L = 6$ дБА);
- своєчасний ремонт всіх механічних вузлів за регламентом ($\Delta L = 8$ дБА).
- використання протишумових навушників ПШН-Б, призначені для захисту від шуму при рівні до 115 дБА

Для зменшення шуму елементів, що обертаються, необхідно слідкувати за рівнем мастила в підшипникових вузлах. Мікрофон при вимірюванні рівня звуку встановлено на висоті 1,5-1,8 м від підлоги. Ці заходи дозволили знизити рівень шуму до 65 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

6.3.4 Освітлення на робочих місцях

Для цеху висотою 5,5 м, в якому знаходиться лінія для виготовлення ПВХ профілю, передбачено природне і штучне освітлення. Для світильників штучного освітлення підходять світильники типу ДРЛ 400 (діаметр: 395 мм; висота: 552 мм; потужність: 250Вт; кількість 10 штук; світловий потік: $\Phi = 19000$ Лм; $E_{\text{факт}} = 300$ лк).

Вони мають бути розташовані так, щоб забезпечувались надійність їх закріплення, безпечність, зручність обслуговування і необхідне освітлення з урахуванням його рівномірності.

Лампи створюють світло, що за яскравістю наближається до природного. Для приміщення також передбачене бокове освітлення (крізь отвори в зовнішніх стінах). Дане освітлення відповідає вимогам ДБНВ 25.28-2006.

6.3.5 Пожежна безпека

При роботі черв'ячного преса використовуються горючі змащувальні матеріали, також для плавлення поліетилену здійснюється при досить високій температурі $T = 170^{\circ}\text{C}$. Тому можливими причинами пожежі можуть бути:

- порушення технологічного режиму;
- несправність електрообладнання й електромережі;
- куріння в невстановлених місцях.

Згідно з приміщенням для розроблюваного преса ЧП-63 лінії для вироблення ПВХ профілю відноситься до категорії В – пожежонебезпечні, так як містить горючі речовини (перероблюваний матеріал – ПВХ, змазуючі мастила), клас зони П – Па (ПУЕ). Згідно з СНиП 2.01.02-85 приміщення відноситься до першого ступеню вогнетривкості. Кількість поверхів не обмежується. Площа поверхів у межах пожежних не обмежується. Ширина евакуиходів - 0,9 м, коридори – 1.1 м що відповідає СНиП 2.04.02-85

У приміщенні встановлено модулі автоматичного порошкового пожежогасіння САМ-9 $3 \times 12 \text{ м}^2$, теплові сповіщувачі, які спрацьовують при підвищенні температури до вище заданої межі $T = 72^{\circ}\text{C}$.

Засобом захисту статичної електрики є заземлення.

Первинним засобом гасіння пожежі є:

- вуглекислові вогнегасники ОУ-3 у кількості 4 шт; ящики з піском - 6 шт;

Протипожежна безпека черв'ячного преса відповідає вимогам СНиП 2.01.02-85.

7. Розробка вузла установки

7.1 Розробка 3D-моделі базової і модернізованої частини установки

Функціональні можливості CATIA:

Заслужене місце в лідируючій групі на світовому ринку досягнуто CATIA V5 завдяки реалізації всебічного комплексного інтегрованого підходу, що дозволив в одній системі успішно здійснювати весь цикл створення нового виробу: від розробки концептуальних моделей до підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПУ і випуску необхідних креслень і конструкторськотехнологічної документації. За допомогою CATIA V5 можна:

- Створювати 2-х і 3-х вимірні ескізи.
- Створювати тривимірні параметричні моделі виробів із застосуванням твердотільного і поверхневого моделювання, створювати моделі з листового матеріалу.
- Створювати виробничі креслення.
- Налаштовувати відображення виробу, керуючи видимістю його компонентів.
- Створювати складні вироби, що складаються з великої кількості компонентів, застосовуючи механізм збірок.
- Автоматизувати повторювані дії за допомогою макросів - створення програм на мові VBA (Visual Basic for Applications).

Починаємо побудову деталі в програмному забезпеченні CATIA.

В меню Start обираємо Mechanical Design – Part Design

Даємо ім'я деталі та функцією Sketch починаємо створювати об'єкт, обравши площину ху.

За допомогою команди “ Profile” задаємо профіль фланцю, задаємо всі розміри згідно з кресленням.

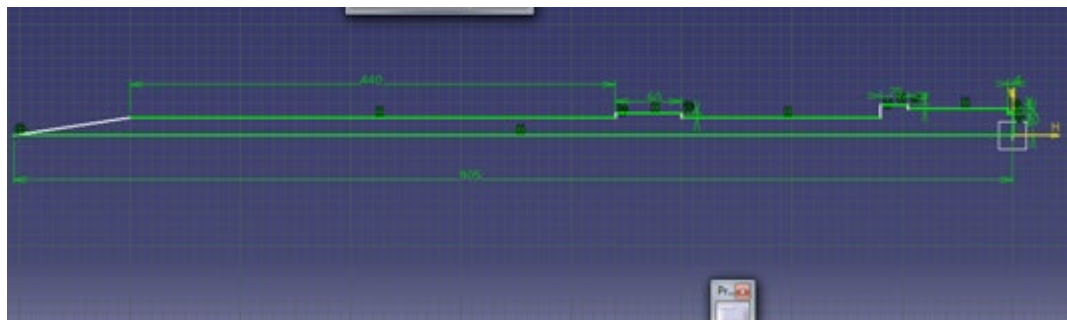


Рис. 7.1 Профiл черв'яка

За допомогою команди "Revolve" прокручуємо накреслену фігуру

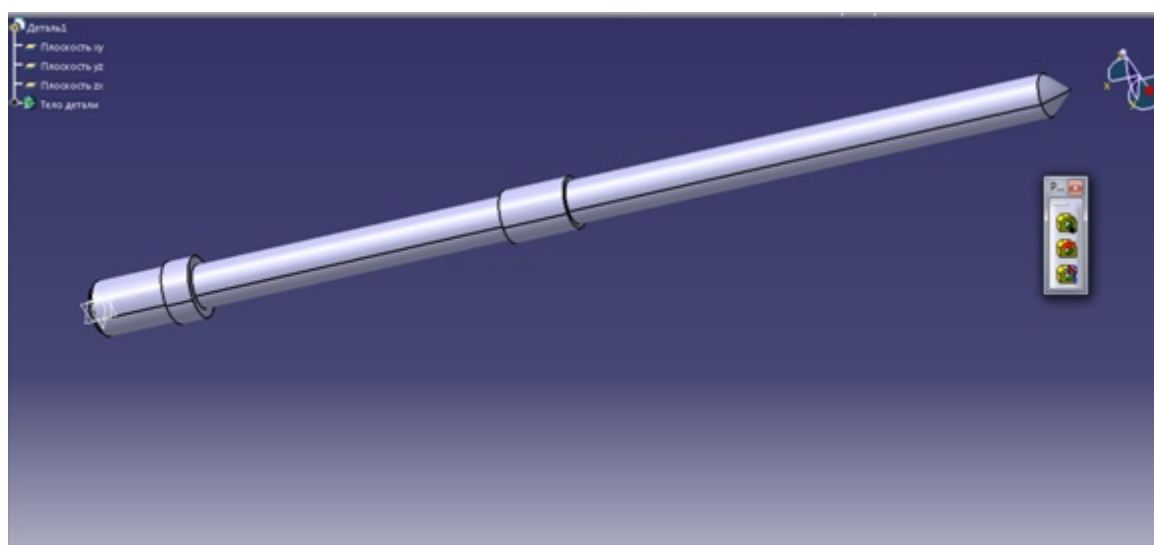


Рис. 7.2

За допомогою команди "Helix Curve Definition" и контур отримуємо черв'як.

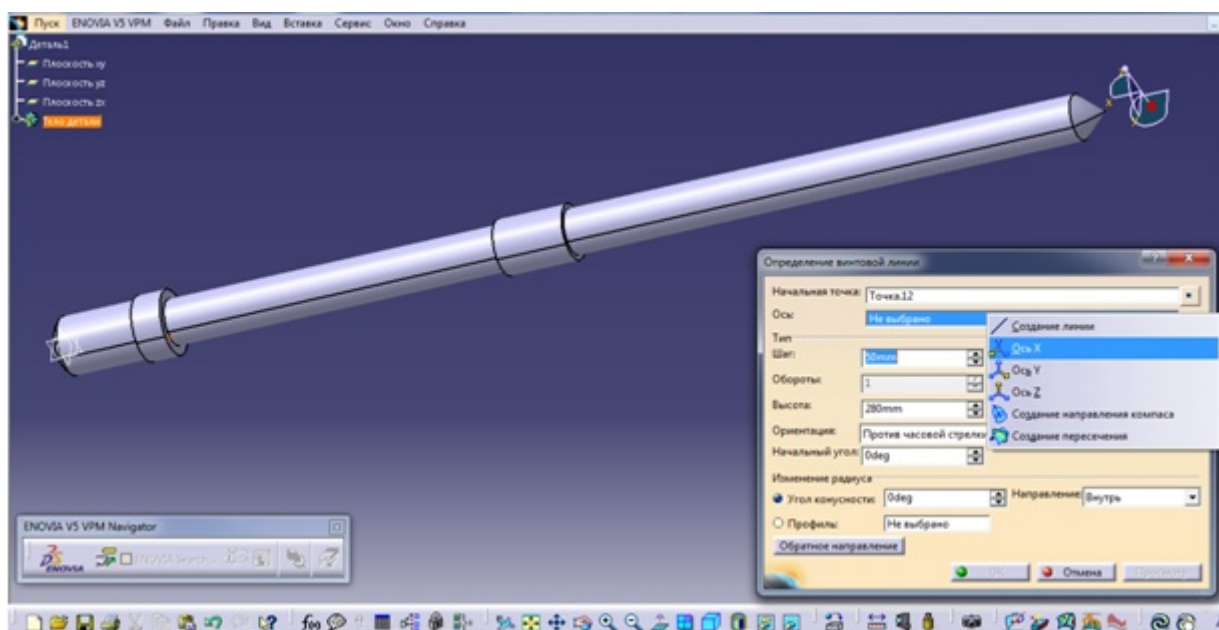


Рис. 7.3

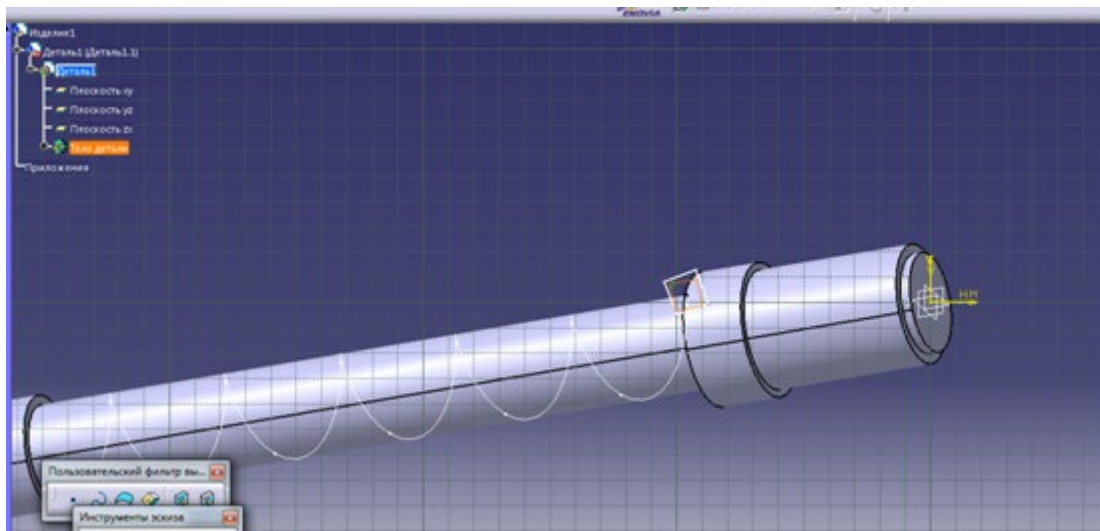


Рис. 7.4

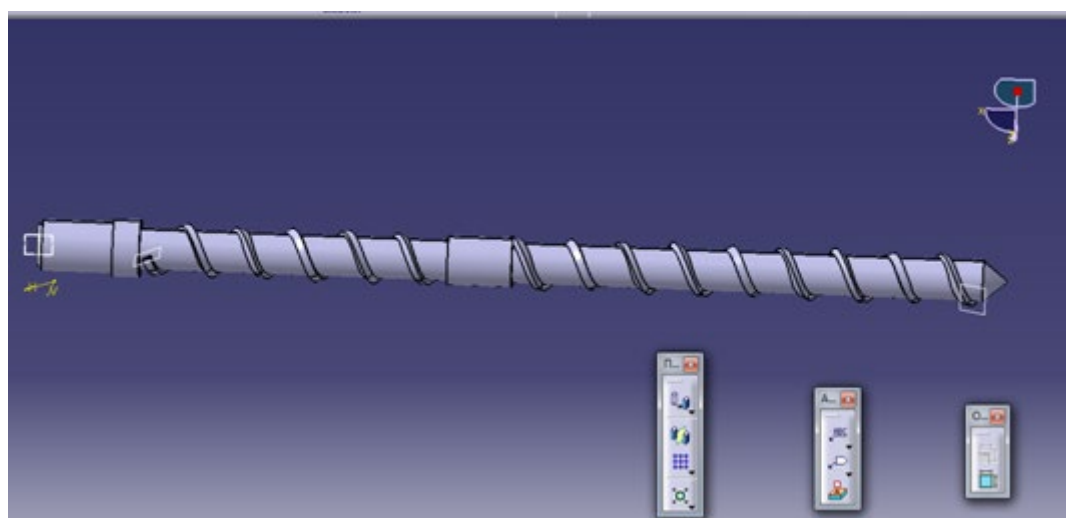


Рис 7.5

За допомогою команди “Profile” задаємо профіль, и за команди “Pocket” видавлюємо побудоване профіль, отримуємо отвір.

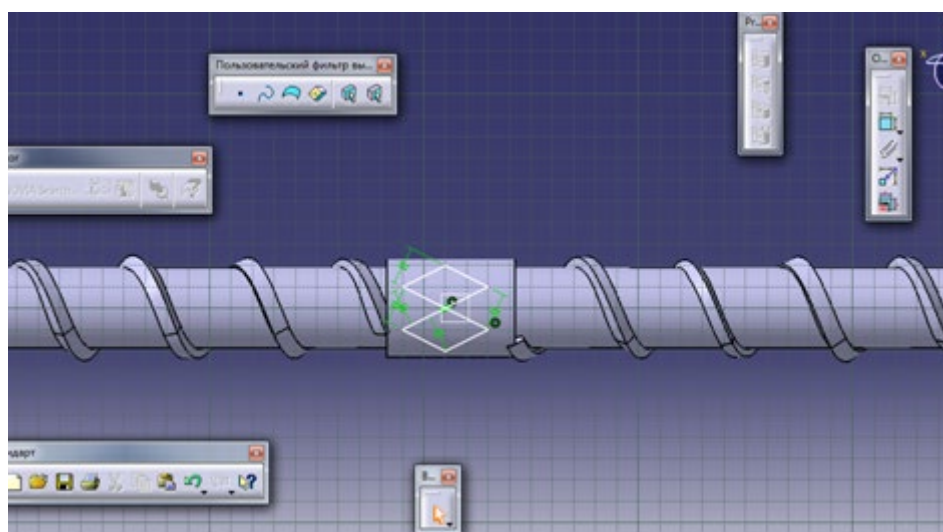


Рис. 7.6

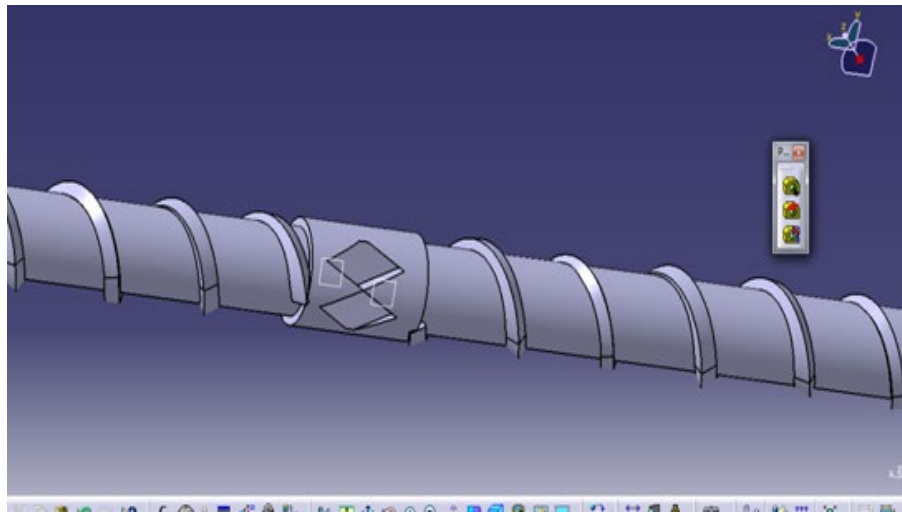


Рис. 7.7

За допомогою команди “Fillet” створюємо фаски згідно з кресленням.

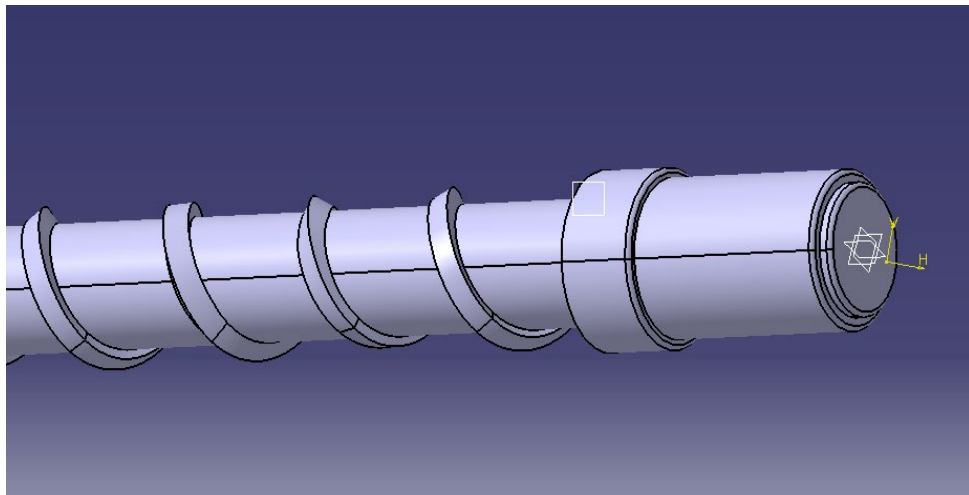


Рис. 7.8

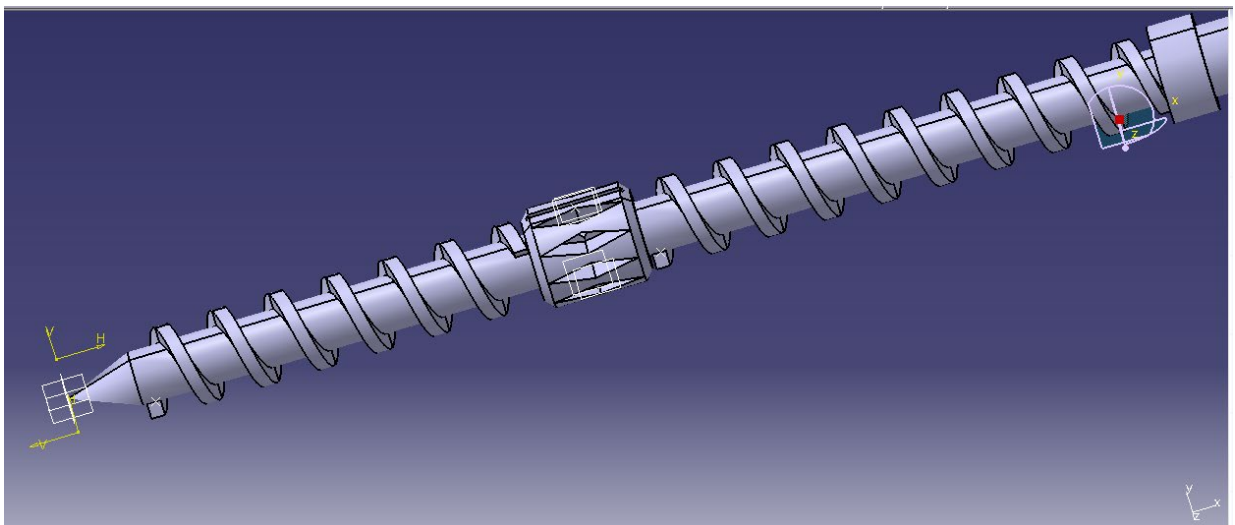


Рис. 7.9 Черв'як модернізована

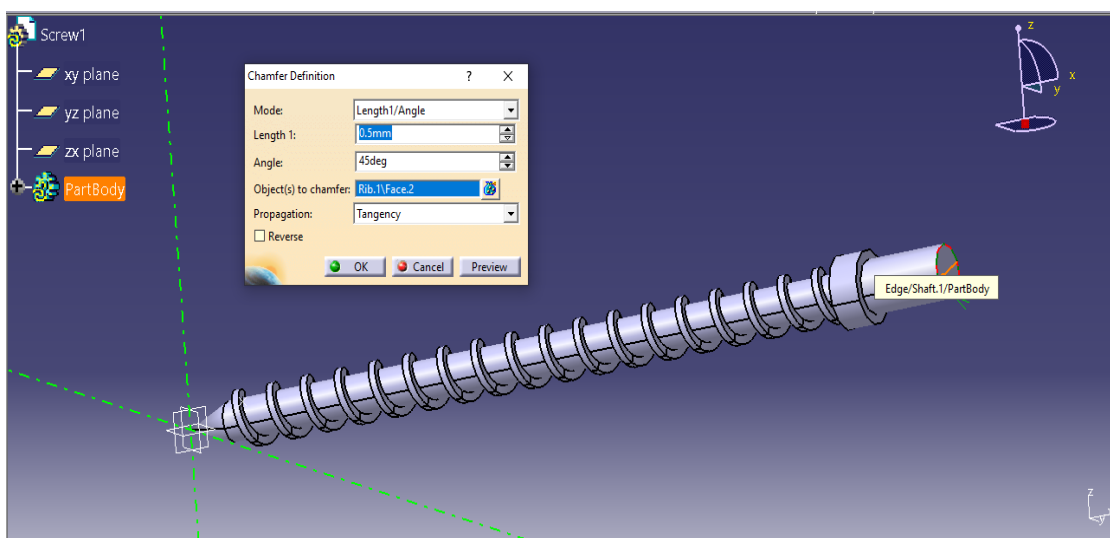


Рис. 7.10 Черв'як немодернізована

7.2 Підтвердження працездатності

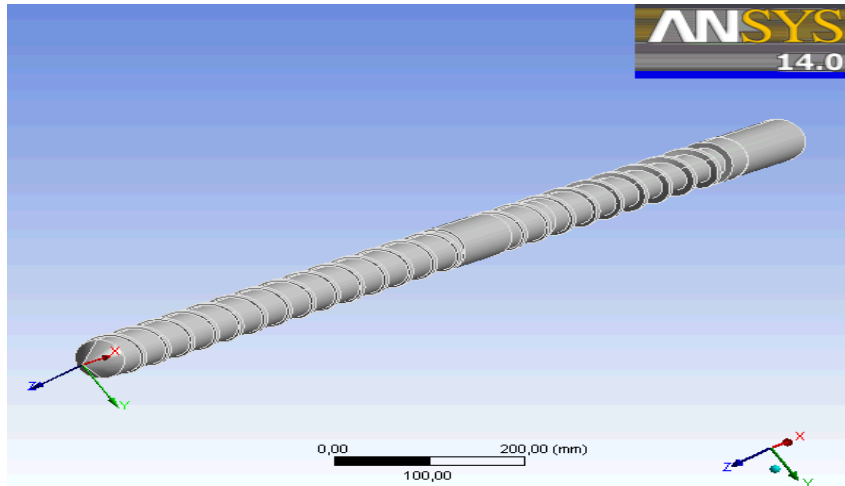
Будь-яка модернізація має бути підтверджена на працездатність та доцільність використання. В наш час зручним інструментом що практично не потребує матеріальних ресурсів для дослідження є ЕОМ, що дійшли такого рівня розвитку, коли звичайний особистий комп'ютер здатен здійснювати такі відповідальні розрахунки. Тому для підтвердження і розрахунку модернізації було використано ЕОМ та відповідне ПЗ.

7.2.1. Вибір програмного забезпечення

Пошук інструменту даного типу обумовлений його точністю, відповідність нормам, зручністю використання та сумісністю з іншим програмним забезпеченням яке задіяно в розробці. Розрахунки основної модернізації були проведено за допомогою програмного забезпечення ANSYS. Данне програмне забезпечення ANSYS — програмне забезпечення надає можливості для вирішення широкого кола задач в областях міцності, гідрогазодинаміки, електромагнетизму, теплових задач, а також міждисциплінарного аналізу, що об'єднує всі чотири області. Дозволяє виконувати оптимізацію конструкції на прикладі всіх перерахованих типів аналізу.

7.2.2 Проведення розрахунків

1. Імпортуємо 3D моделі для розрахунку



2. Задаємо властивості матеріалу та присвоюємо об'єкту

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	Source		Description
2	Material			
3	40XH2MA			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: 40XH2MA

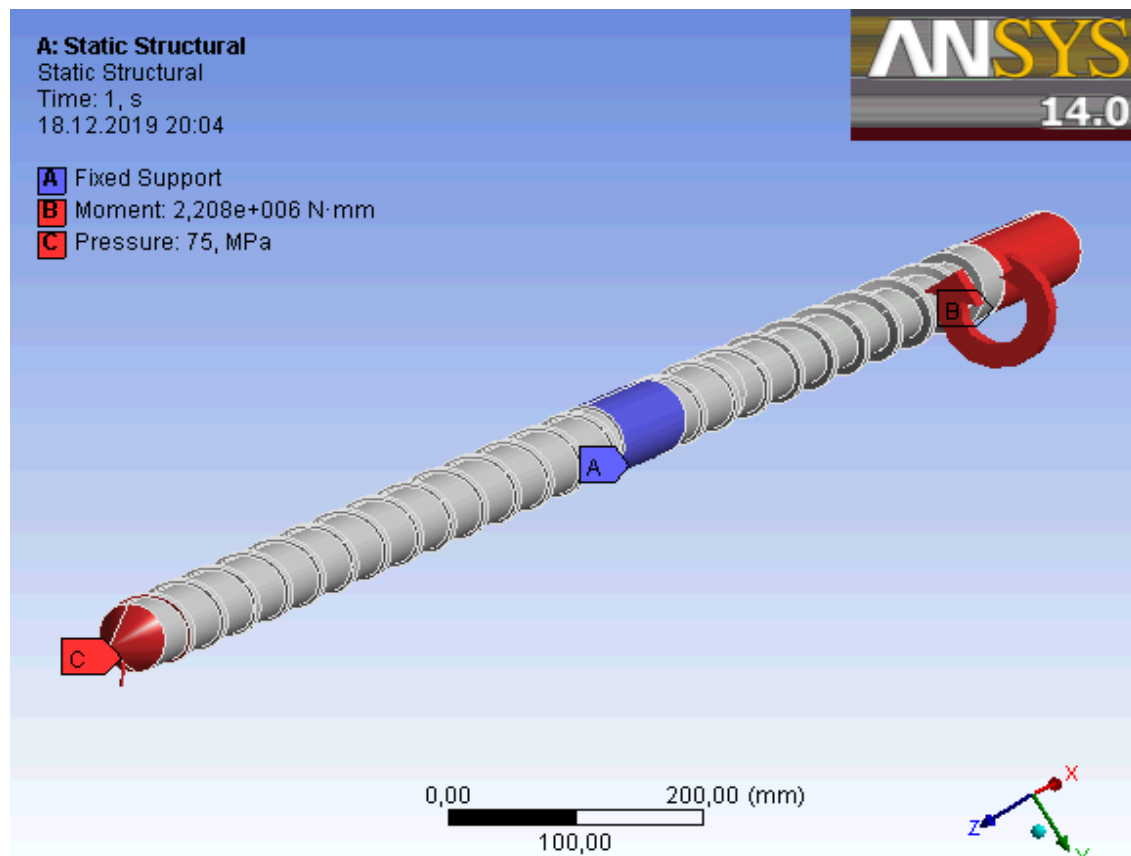
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m ⁻³		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	850	MPa		
25	Compressive Yield Strength	1100	MPa		
26	Tensile Ultimate Strength	460	MPa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Table of Properties Row 27: Compressive Ultimate Strength

	A
1	Compressive Ultimate Strength (Pa)
2	0

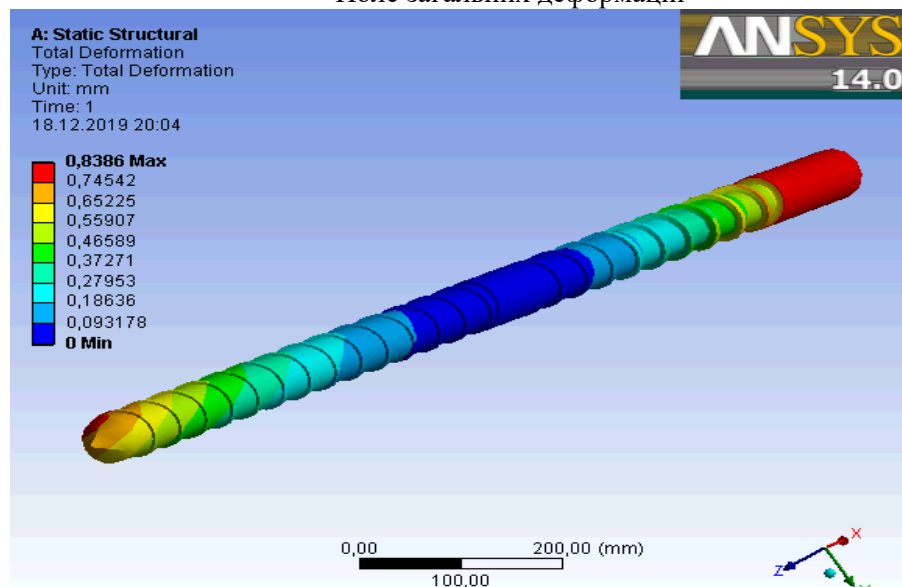
Chart: No data

3. Задаємо закріплення, момент, та навантаження(тиск) деталі

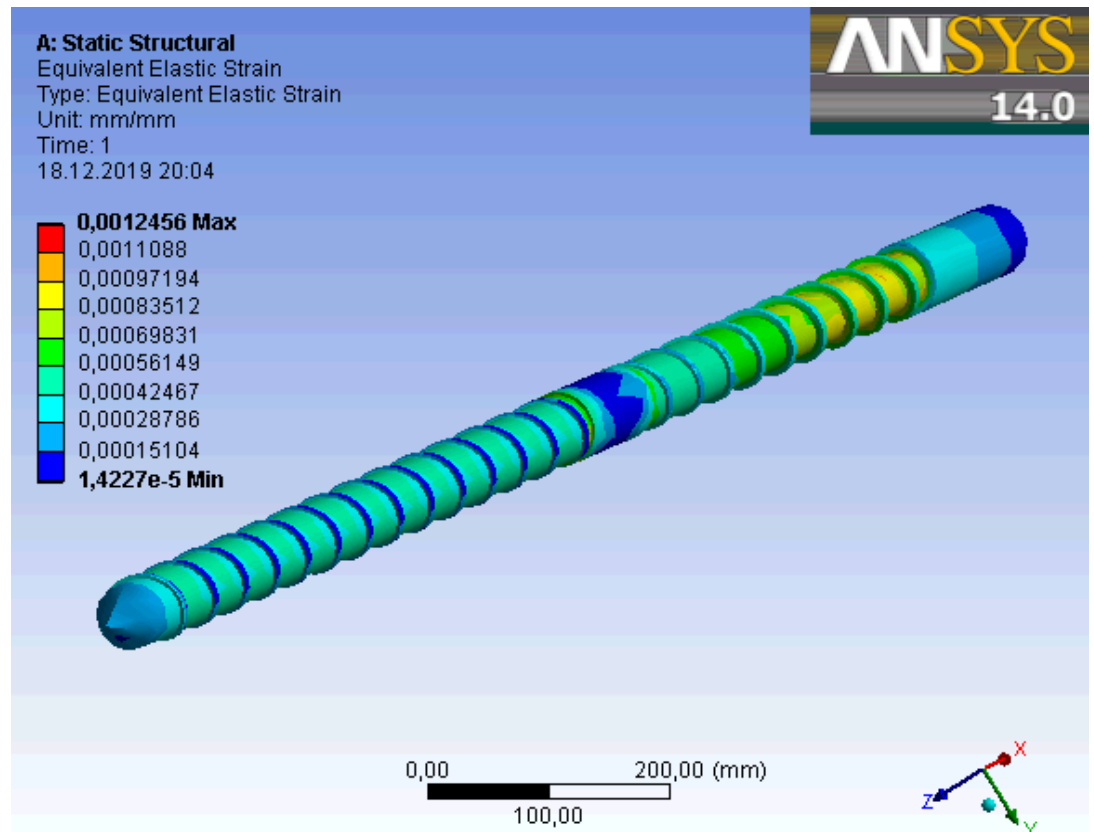


7.3.3 Результати розрахунків

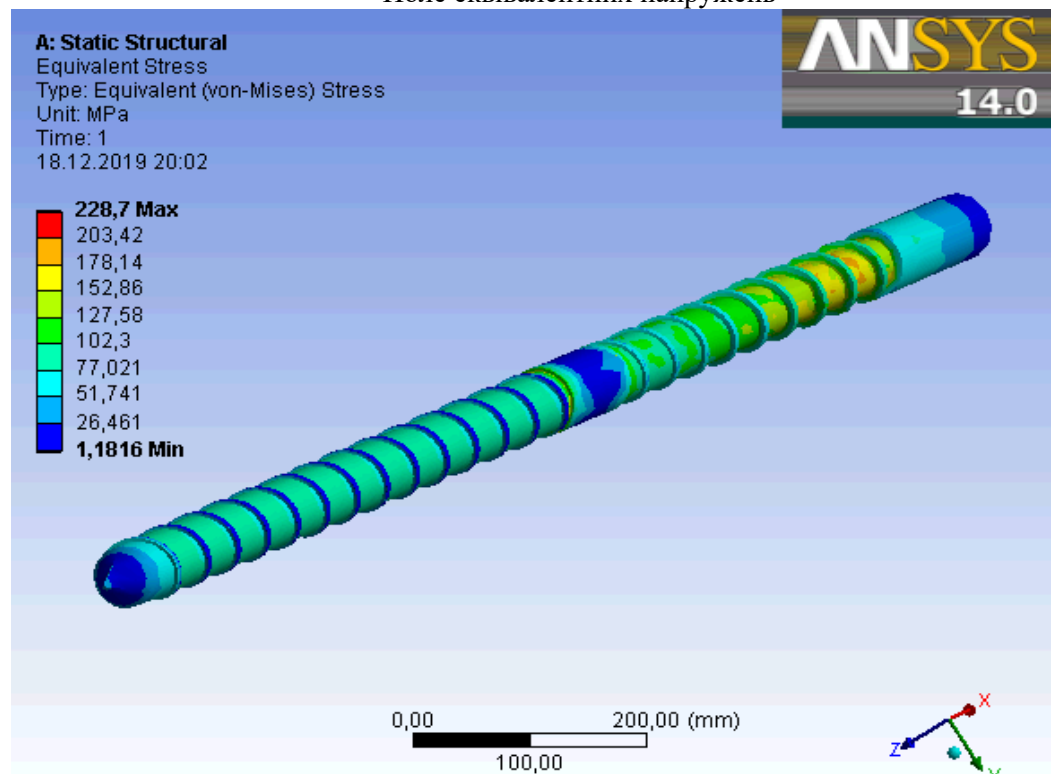
Поле загальних деформацій



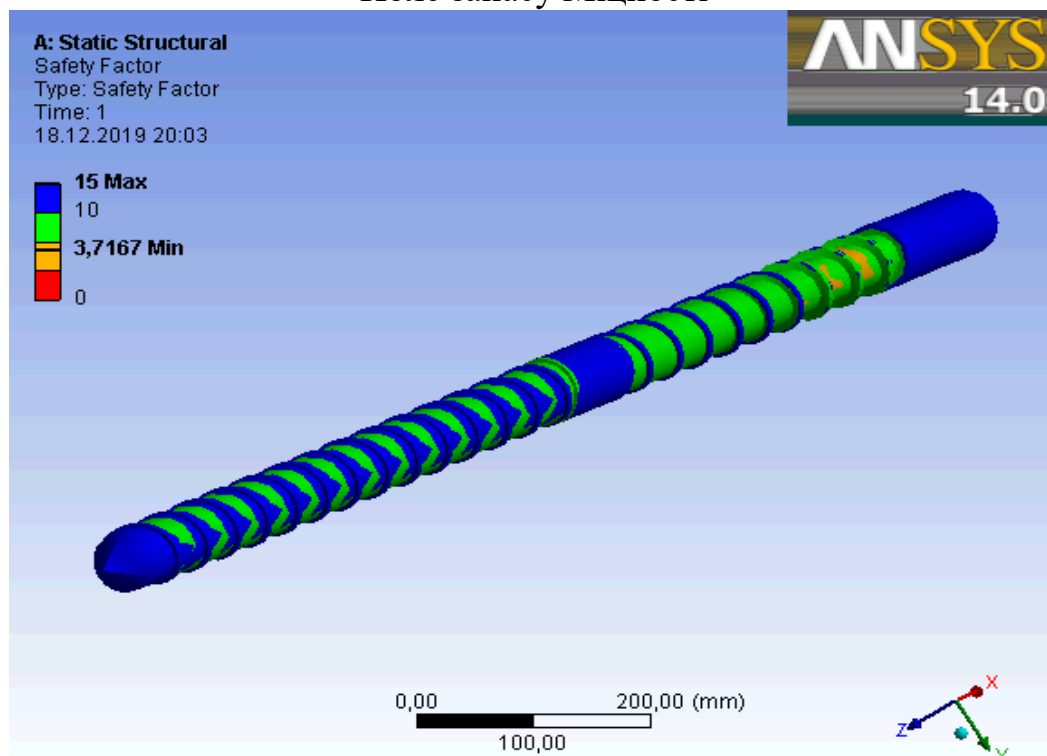
Поле еквівалентних деформацій



Поле еквівалентних напружень



Поле запасу Міцності



7.4. Аналіз достовірності отриманих розрахунків

За результатом розрахунку в програмі ANSYS статичної постановки задачі ми отримали еквівалентне напруження в елементі яке становить 228,7 МПа, що не перевищує границю міцності металу. Отже конструкція можна вважати працездатною.

Максимальна загальна деформація становить 0,8386 мм, максимальний запас міцності - 15.

ВИСНОВКИ

Магістерську дисертацію виконано згідно з темою «Лінія нанесення полімерної ізоляції з модернізацією екструдера». На базі проведено огляду літератури та патенти обґрунтовано напрями удосконалення конструкції черв'яка та формуючої головки екструдера з метою підвищення якості підготовки полімерної композиції та рівнотовщинності нанесеної ізоляції на кабелі.

Розроблена модернізація конструкції головки за рахунок забезпечення зворотно-поступального руху матриці вздовж осі забезпечує згладження пульсації і нанесення рівнотовщинної ізоляції на кабелі та зменшення кількості бракованої продукції.

Здійснено проектування удосконалених конструкцій черв'яка та формуючої головки.

Зроблено 3D геометрична модель черв'яка. Проведено розрахунок деформації та напруження черв'яка в системі ABAQUS від дії власної ваги та тиску. Підтверджена працездатність модернізацій конструкції черв'яка екструдера.

В наслідок проведеної модернізації черв'яка екструдера та формуючої головки збільшено річну продуктивність лінії для нанесення ізоляції на кабель за умов покращення якості ізоляційного матеріалу вцілому

За результатами виконання магістерської дисертації опубліковано тези доповіді на X Всеукраїнській науково-практичній конференції “Ефективний процеси та обладнання хімічних виробництв та паркуваних технік, м. Київ 12-13 грудня 2019 року”.

Список літератури

1. Л.Б. Радченко, В.І. Сівецький – Основи моделювання і конструювання черв'ячних екструдерів.– К.: Політехніка, 2002. – 146 с.
2. Басов Н.И Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов :учеб. Для вузов / Н.И Басов, Ю.В. Казанков, В.А. Лювартович. – М.:Химия, 1986. -488с.
3. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. Д.Д. Рябинин, Ю.Е. Лукач,— М.: Машиностроение, 1972.—268 с.
4. Червячные машины для переработки резиновых смесей и пластических мас. Ю.Е. Лукач, Д.Д. Рябинин.—М.: Машиностроение, 1967.—364 с.
5. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас: нвч. Посіб./ О.Л Сокольський, В.І. Сівецький, І.О. Мікульонок. – К.: НТУУ “КПІ”, 2014. - 148с. –Бібліогр. Сю 142-144. -300 пр.
6. Басов Н.И Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов. –М: Химия, 1991. –С.250-251.
7. Щербина В.Ю., Сахаров О.С., Гондляр О.В., Сівецький В.І.. САПР. Програмування на функціональній мові AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] // – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156с.
URL:<https://cpsm.kpi.ua/publikatsiji/knigi/731>
8. Авторське свідоцтво СССР N 49070, кл. В 29 С 47/38, 2009.
9. Авторське свідоцтво СССР N 763130, кл В 29 F 30/02, 1980. Опубл. 15.09.80. Блю № 34.
10. Пат. 619351U Україна, МПК В 29 С 47/60. Черв'як екструдера / Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Івіцький І.І; Заявник та власник Національний технічний університет України Єкспертський політехнічний інститут”/ – №u2015044969; заявл. 21.05.15; опубл. 25.11.15, Блю. № 22.
11. Пат. SU1595667A1. Шнек екструдера для переработки полимерных материалов.
12. Пат. 82157U Україна, МПК В 29 С 47/14. Головка екструзійна. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Рослов О.В., Коваленко К.Г., Івіцький І.І.; заявник та власник Сокольський О.Л. – № u201300518; опубл 25.07.13, Блю №14
13. Пат. 68853U Україна, МПК В 29 С 48/12. Екструзійна головка для формування порожнистого виробу. Мікульонок І.О., Письменний О.С – №68853.